



Escola Politècnica Superior
d'Enginyeria de Vilanova i la Geltrú

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

TRABAJO FINAL DE GRADO

TÍTULO: DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA RED INALÁMBRICA DE BAJO CONSUMO PARA LA PREVENCIÓN Y DETECCIÓN DE INCENDIOS

AUTOR: ÁLVAREZ LAPERAL, JAVIER

TITULACIÓN: GRADO EN INGENIERIA ELECTRONICA Y AUTOMATICA

DIRECTOR: ANTONIO MIGUEL LÓPEZ MARTÍNEZ

FECHA DE PRESENTACIÓN: SETIEMBRE, 2018

RESUM

Este proyecto se centra en el diseño de un sistema inalámbrico de bajo consumo y bajo coste para la prevención y detección de incendios. Explicamos desde el inicio las graves secuelas posteriores a un incendio forestal.

En primer lugar, se realiza un estudio sobre el impacto que conlleva un incendio desde el punto de vista ambiental, social y económico. Se analizan las medidas actuales para la detección y se exponen sus ventajas y desventajas con la finalidad de poder mejorar tanto la detección como la prevención. En todo momento se tiene la colaboración de los Agentes Rurales y Bomberos. A continuación se estudia posibles soluciones a nivel de detección mediante diferentes sensores. Se decide utilizar sensores de temperatura, humedad e infrarrojo.

Seguidamente, para poder enviar los datos de los sensores se analizan diferentes tecnologías de comunicación inalámbrica de bajo consumo y finalmente se escoge un módulo de radio XBee. Para lograr una red de bajo consumo se diseña y configura el hardware de manera que se duerme durante un periodo de tiempo estipulado y se despiertan únicamente para enviar los datos y se vuelve a dormir. Además, se modifica el microcontrolador de forma que su consumo disminuye drásticamente. Asimismo se diseña un circuito impreso para mejorar el prototipo del proyecto. Por otro lado, el módulo que recibe los datos, el coordinador, es conectado al PC y mediante Matlab se realiza la adquisición de los datos y su procesamiento para terminar visualizando de manera gráfica los valores de los sensores.

Como resultado se consigue una red inalámbrica de bajo consumo con un coste atractivo para poder ser implementado en zonas críticas y de riesgo elevado ante un incendio.

Paraules clau (màxim 10):

Incendio forestal	Red	Inalámbrica	Bajo consumo
Bajo coste	XBee	Modo dormido	Arduino

ABSTRACT

This project is focusing on the design of a low cost and low power wireless system which aims to prevent and detect wildfire. In the beginning of this work, we explain the serious consequences of a wildfire.

Firstly, an analysis has been conducted about the ecological, social, and economic impact of a fire. Current measures for fire detection are analyzed and pro and cons are highlighted aiming to improve both fire detection and prevention. At any time, Firefighters and rural agents were supporting the analysis. Next, several possible fire detection have been evaluated with the use of different sensors and outcome has been the decision to go for temperature, humidity and infrared sensors.

Then, to enable the sensors data transfer, different low power wireless communication technologies have been checked to finally choose a XBee radio module. To achieve a low power network, hardware design and configuration has been performed to sleep it during a defined time, to wake it up only for sending data and to sleep it again just after. Furthermore, the microcontroller has been modified so that its consumption decreases drastically. Additionally and in one hand, a printed circuit board has been designed and implemented to enhance the project prototype. On the other hand, the data receiver module, so called the coordinator, has been connected to the PC and with Matlab, data are collected and processed with final graphical visualization of figures.

As a result, a low power wireless network has been achieved with an attractive cost to facilitate its implementation in critical areas with high risk of fire.

Keywords (10 maximum):

Wildfire	Network	Wireless	Low Power
Low cost	XBee	Sleep mode	Arduino

Sumario

1	INTRODUCCIÓN	8
1.1	OBJETIVOS	8
1.2	MOTIVACIÓN.....	9
2	INCENDIOS FORESTALES	10
2.1	INCENDIOS FORESTALES ESPAÑA	12
2.1.1	VOLUMEN INCENDIOS ESPAÑA	12
2.1.2	EVOLUCIÓN INCENDIOS DE 2007 A 2017.....	13
2.1.3	PREVENCIÓN Y DETECCIÓN INCENDIOS ESPAÑA	15
2.2	CONSECUENCIAS INCENDIO FORESTAL	18
2.2.1	IMPACTO ECONÓMICO	18
2.2.2	IMPACTO SOCIAL	18
2.2.3	IMPACTO AMBIENTAL	18
2.3	FACTORES PARA LA PREVENCIÓN Y DETECCIÓN DE INCENDIOS	21
2.3.1	REGLA DEL 30.....	21
2.3.2	DETECCIÓN DE HUMO	22
2.3.3	DETECCIÓN DE INCENDIO MEDIANTE INFRARROJOS	24
2.4	PROPUESTA DE LA LOCALIZACIÓN PARA IMPLEMENTACIÓN	26
2.4.1	PARQUE NATURAL DE LA SIERRA DE COLLSEOLA	26
2.4.2	LOCALIZACIÓN	27
2.4.3	BIODIVERSIDAD	27
2.4.4	RIESGO INCENDIO	28
3	TECNOLOGÍAS DE COMUNICACIÓN IOT	29
3.1	SIGFOX	29
3.2	LORA	30
3.3	XBEE.....	30
3.4	LONG TERM EVOLUTION FOR MACHINES (LTE-M)	31
3.5	NB-IOT	31
3.6	CARACTERÍSTICAS DE LAS TECNOLOGÍAS LTE	32
3.7	CARACTERÍSTICAS DE LAS TECNOLOGÍAS DE BANDAS NO LICENCIADAS	33
3.8	BIDIRECCIONALIDAD	34
3.9	COMPARATIVA ENTRE MÓDULOS LPWA LTE Y MÓDULOS LOW POWER DE RED LOCAL Y WAN..	34
4	IEEE 802	35
4.1	ZIGBEE	35
4.2	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE ZIGBEE	36
4.2.1	FRECUENCIAS DE TRABAJO Y RANGO DE VELOCIDADES	36
4.2.2	ARQUITECTURA ZIGBEE	37
4.2.3	TOPOLOGÍAS DE RED	37
4.2.4	CAPAS ZIGBEE	38
4.2.5	SEGURIDAD DE LA RED	39
4.2.6	PROFUNDIDAD DE RED	40
4.3	COEXISTENCIA DE REDES INALÁMBRICAS	41

5	REQUERIMIENTOS DEL HARDWARE.....	42
5.1	MÓDULOS DE RADIO XBEE	42
5.1.1	TIPOS DE MÓDULOS	42
5.1.2	MÓDULOS REGULAR Y MÓDULOS PRO	43
5.1.3	MÓDULO 2.4 GHZ Y MÓDULOS 900 MHZ.....	43
5.1.4	TIPOS DE ANTENAS.....	44
5.1.5	MODO DE OPERACIÓN	45
5.1.6	TRAMA DE DATOS.....	47
5.1.7	XBEE EXPLORER USB.....	47
5.1.8	XBEE BREAKOUT	48
5.1.9	XCTU	48
5.2	SENSORES PARA MONITORIZAR EL ENTORNO.....	50
5.2.1	SENSORES DE TEMPERATURA.....	50
5.2.2	SENSORES DE HUMEDAD RELATIVA	51
5.2.3	SENSORES DE TEMPERATURA Y HUMEDAD	52
5.2.4	SENSORES Y FOTODIODOS INFRARROJOS.....	53
5.3	ARDUINO	55
5.3.1	VENTAJAS ARDUINO	55
5.3.2	PLACAS ARDUINO DE TAMAÑO REDUCIDO	56
5.4	BATERÍA	58
5.4.1	TIPOS DE BATERÍA.....	59
6	ELECCIÓN DEL HARDWARE	62
6.1	MÓDULO DE RADIO XBEE S1 PRO	62
6.2	SENSOR DE TEMPERATURA TMP36	63
6.3	SENSOR DE HUMEDAD HIH 5031	63
6.4	SENSOR DE TEMPERATURA AMG8833	64
6.5	MICROCONTROLADOR ARDUINO MINI PRO 3.3V.....	64
6.6	BATERÍA LITIO ER34615M.....	65
7	LOW POWER.....	66
7.1	CONFIGURACIÓN MÓDULOS XBEE	66
7.1.1	COORDINADOR	67
7.1.2	ROUTER.....	68
7.2	BAJO CONSUMO MICROCONTROLADOR ARDUINO	70
7.2.1	PROGRAMACIÓN MICROCONTROLADOR ARDUINO.....	70
7.2.2	HARDWARE MICROCONTROLADOR ARDUINO	70
7.3	CONEXIÓN SENSORES.....	71
7.4	CONSUMO EN FUNCIÓN DEL CICLO DE TRABAJO	72
8	ARQUITECTURA DE LA RED DE SENSORES.....	73
8.1	CIRCUITO IMPRESO.....	73
8.2	POSICIÓN HARDWARE	74
8.3	INSTALACIÓN MÓDULOS	76
8.3.1	DISTANCIA ENTRE MÓDULOS	76
8.3.2	ALTURA E INCLINACIÓN DE LOS MÓDULOS.....	76
9	ADQUISICIÓN DE DATOS	77
9.1	MATLAB	77
9.2	INTERFAZ GRÁFICA	79
9.2.1	INTERFAZ GRÁFICA A NIVEL LOCAL.....	81

10	IMPLEMENTACIÓN DE LA RED INALÁMBRICA DE SENSORES PARA LA PREVENCIÓN Y DETECCIÓN DE INCENDIOS.....	82
10.1	DIMENSIONADO DE LA RED INALÁMBRICA DE SENSORES.....	82
10.2	COSTE IMPLEMENTACIÓN	83
11	CONCLUSIONES	84
11.1	LÍNEAS FUTURAS DE TRABAJO	85
12	AGRADECIMIENTOS.....	86
13	BIBLIOGRAFIA.....	87
Anexo 1 Datasheet de los componentes		
Anexo 2 Cálculo consumo de corriente de los módulos y dimensionado de la batería		
Anexo 3 Estudio del sensor AMG8833		
Anexo 4 Desglose de los costes de implementación y el coste de realización del proyecto		
Anexo 5 Script Matlab y Arduino, y configuración de los módulos XBee		
Anexo 6 Esquema circuito y diseño PCB		
Anexo 7 Script Processing y Arduino		

SUMARIO DE FIGURAS

FIGURA 1 INCENDIO EN PEDRÓGÃO GRANDE, PORTUGAL.....	10
FIGURA 2 BOMBEROS COMBATIENDO EL INCENDIO DE GALICIA	11
FIGURA 3 GRÁFICO INCENDIOS FORESTALES EN ESPAÑA DEL 2007 AL 2017	12
FIGURA 4 COMPARATIVA SUPERFICIE QUEMADA ARBOLADA Y FORESTAL.....	13
FIGURA 5 NÚMERO DE SINIESTROS POR REGIÓN	14
FIGURA 6 DISTRIBUCIÓN INCENDIOS FORESTALES 2016 ESPAÑA.....	14
FIGURA 7 ZONAS DE RIESGO DE INCENDIO 25/06/2017	15
FIGURA 8 DISTRIBUCIÓN DE AVISOS DE INCENDIOS SEGÚN FUENTE	17
FIGURA 9 ZONA QUEMADA DESPUÉS DE UN INCENDIO FORESTAL.....	19
FIGURA 10 CIERVO EN ZONA DE INCENDIO.....	20
FIGURA 11 DETECTOR DE INCENDIO POR RAYOS INFRARROJOS.....	22
FIGURA 12 DETECTOR DE INCENDIO POR INFRARROJO DE TIPO PUNTUAL	23
FIGURA 13 ECUACIÓN LEY DE PLANK, FLUJO ENERGÉTICO Y LONGITUD DE ONDA	24
FIGURA 14 DISTRIBUCIÓN RADIACIÓN INFRARROJA POR TEMPERATURA.....	24
FIGURA 15 ESPECTRO EMITIDO TÍPICO DURANTE UN INCENDIO	25
FIGURA 16 UBICACIÓN PARC NATURAL DE LA SIERRA DE COLLSEOLA	27
FIGURA 17 ZONA BOSCOSE EN COLLSEOLA	27
FIGURA 18 AERONAVE EXTINGIENDO INCENDIO EN COLLSEOLA.....	28
FIGURA 19 RED SIGFOX.....	29
FIGURA 20 RED LoRa	30
FIGURA 21 XBEE DIGIMESH	30
FIGURA 22 LOGO LTE-M	31
FIGURA 23 CARACTERÍSTICAS NB IoT	31
FIGURA 24 LOGO IEEE.....	35
FIGURA 25 TOPOLOGÍA DE RED ZIGBEE	37
FIGURA 26 EJEMPLO DEL ROUTING DINÁMICO.....	38
FIGURA 27 CAPAS ZIGBEE.....	39
FIGURA 28 EJEMPLO RADIO INTRUSIÓN	39
FIGURA 29 PROFUNDIDAD DE RED	40
FIGURA 30 BANDA 2.4GHZ	41
FIGURA 31 COEXISTENCIA BLUETOOTH-ZIGBEE-WIFI.....	41
FIGURA 32 MÓDULOS DE RADIO XBEE	42
FIGURA 33 ANTENAS PARA MÓDULOS XBEE	44
FIGURA 34 EJEMPLO COMANDO AT.....	45
FIGURA 35 EJEMPLO COMUNICACIÓN MODO TRANSPARENTE.....	45
FIGURA 36 DISTRIBUCIÓN DE LA TRAMA EN MODO API	46
FIGURA 37 EJEMPLO COMUNICACIÓN EN MODO API.....	46
FIGURA 38 XBEE EXPLORER USB	47
FIGURA 39 XBEE BREAKOUT	48
FIGURA 40 PANTALLA CONFIGURACIÓN XCTU	48
FIGURA 41 VISUALIZACIÓN DATOS ENVIADOS RECIBIDOS MEDIANTE XCTU	49
FIGURA 42 VISUALIZACIÓN RED XBEE MEDIANTE XCTU	49
FIGURA 43 SENSOR LM35.....	50
FIGURA 44 SENSOR TMP36	50
FIGURA 45 SENSOR TC74.....	50
FIGURA 46 SENSOR HPP801A031.....	51
FIGURA 47 SENSOR HIH4000.....	51
FIGURA 48 SENSOR HIH5031.....	51
FIGURA 49 SENSOR DHT22	52
FIGURA 50 SENSOR SHT15	52
FIGURA 51 SENSOR MLX90614	53
FIGURA 52 SENSOR AMG8833	53
FIGURA 53 SENSIBILIDAD ESPECTRAL FOTODIODO LMS49	54

FIGURA 54 FOTODIODO LMS49	54
FIGURA 55 ARDUINO MINI,MICRO,NANO	56
FIGURA 56 ARDUINO MINI - ARDUINO MINI PRO	57
FIGURA 57 GRÁFICA CAPACIDAD-CORRIENTE PILA ALCALINA.....	59
FIGURA 58GRÁFICA CAPACIDAD-CORRIENTE BATERÍA LITIO.....	60
FIGURA 59 GRÁFICA CAPACIDAD-CORRIENTE BATERIA MIMH.....	61
FIGURA 60 MÓDULO XBEE S1 PRO	62
FIGURA 61 CABLE UFL-RPSMA	63
FIGURA 62 ANTENA 2.4GHz.....	63
FIGURA 63 SENSOR TEMPERATURA TMP36	63
FIGURA 64 SENSOR HUMEDAD HIH5031	63
FIGURA 65 I2C	64
FIGURA 66 ADAPTADOR FTDI	64
FIGURA 67 BATERIA LITIO ER34615M.....	65
FIGURA 68 CURVA DESCARGA BATERÍA	65
FIGURA 69 CONFIGURACIÓN DIRECCIÓN XCTU COORDINADOR.....	67
FIGURA 70 CONFIGURACIÓN SLEEP COMMANDS XCTU.....	67
FIGURA 71 CONFIGURACIÓN DIRECCIÓN XCTU ROUTER	68
FIGURA 72 CONFIGURACIÓN I/O XCTU ROUTER	69
FIGURA 73 CONFIGURACIÓN ASYNC.CYCLIC SLEEP.....	69
FIGURA 74 FUNCIÓN SLEEP ARDUINO.....	70
FIGURA 75 REGULADOR A ELIMINAR ARDUINO MINI PRO	70
FIGURA 76 ESQUEMA CONEXIÓN MÓDULOS ROUTER	71
FIGURA 77 CICLO DE TRABAJO	72
FIGURA 78 ESQUEMA DISEÑO PCB.....	73
FIGURA 79 DISEÑO ONLINE PCB MEDIANTE EASYEDA	73
FIGURA 80 PREVISUALIZACIÓN PCB.....	74
FIGURA 81 MÓDULO ROUTER ARMADO	74
FIGURA 82 MÓDULO ROUTER ABIERTO	75
FIGURA 83 MÓDULO CON ANTENA RPSMA.....	75
FIGURA 84 EJEMPLO DISTANCIA MÓDULOS.....	76
FIGURA 85 LOGO MATLAB.....	77
FIGURA 86 PARTE DEL SCRIPT DE MATLAB	77
FIGURA 87 CONEXIÓN COORDINADOR AL PC.....	78
FIGURA 88 VISUALIZACIÓN MATLAB SIN ALERTAS	79
FIGURA 89VISUALIZACIÓN MATLAB CON ALERTAS	79
FIGURA 90 PROBABILIDAD DE INCENDIO	80
FIGURA 91 REGISTRO TEMPERATURA Y HUMEDAD EN EXCEL	80
FIGURA 92 SENSOR AMG8833 CON VELA.....	81
FIGURA 93 PROCESSING AMG8833 DE LA VELA	81
FIGURA 94 ESTRUCTURACIÓN DE LA INSTALACIÓN DE LOS MÓDULOS	82

SUMARIO DE FIGURAS

TABLA 1 VOLUMEN INCENDIOS Y CONATOS EN ESPAÑA	12
TABLA 2 COMPARATIVA SUPERFICIE QUEMADA ARBOLADA Y FORESTAL	13
TABLA 3 MÉTODOS DE PREVENCIÓN Y DETECCIÓN DE INCENDIOS	16
TABLA 4 CARACTERÍSTICAS GENERALES LTE	32
TABLA 5 COMPARACIÓN SIGFOX-LORA-XBEE.....	33
TABLA 6 COMPARATIVA ENTRE MÓDULOS DE BANDAS LICENCIADAS Y NO LICENCIADAS.....	34
TABLA 7 BANDAS ZIGBEE.....	36
TABLA 8 CARACTERÍSTICAS ARDUINO MINI, MICRO Y NANO	56
TABLA 9 COMPARATIVA ARDUINO MINI - ARDUINO MINI PRO	57
TABLA 10 COMPARATIVA CONSUMO ARDUINO MINI PRO.....	71
TABLA 11 CONSUMO DE CORRIENTE DE LOS COMPONENTES	72
TABLA 12 PROBABILIDAD DE INCENDIO	80

GLOSARIO SIGLAS Y ABREVIATURAS

AES: Advanced Encryption Standar, es uno de los algoritmos de cifrado más utilizados y seguros actualmente disponibles.

API: Application Programming Interface, es un conjunto de subrutinas, funciones y procedimientos que ofrece cierta biblioteca para ser utilizado por otro software.

DSSS: Direct Sequence Spread Spectrum, es un método de codificación de canal para transmisiones digitales por ondas radiofónicas.

IoT: Internet of Things, es un concepto de interconexion digital de objetos con Internet.

ISM: Industrial, Scientific and Medical, son bandas de frecuencias reservadas internacionalmente para un uso no comercial de radiofrecuencia.

LAN: Local Area Network, es una red de comunicación que abarca un área reducida

LPWAN: Low Power Wide Area Network, red de telecomunicación diseñada para un largo alcance y una baja tasa de datos.

LTE: Long Term Evolution, es un estándar para comunicaciones inalámbricas de alta velocidad para teléfonos móviles y terminales de datos.

OSI: Open System Interconnection, es un modelo para los protocolos de la red de arquitectura en capas. El modelo OSI especifica el protocolo que debe usarse en cada capa.

PCB: Printed Circuit Board, es la superficie constituida por pistas de un material conductor laminadas sobre una base no conductora.

RPSMA: Reverse Polarity SubMiniature version A, es un tipo de conector roscado para cable coaxial.

SEPRONA: Servicio de Protección de la Naturaleza, cuerpo de la Guardia Civil encargado de velar por el cumplimiento de las disposiciones que tiendan a la conservación de la naturaleza y al medio ambiente, de los recursos hidráulicos, así como de la riqueza cinegética, piscícola, forestal y cualquier otra relacionada con la naturaleza.

TCP: Transmission Control Protocol, es uno de los protocolos fundamentales en Internet. El uso del protocolo TCP permite comunicarse de forma segura a las aplicaciones.

UART: Universal Asynchronous Receiver Transmitter, es el dispositivo que controla los puertos y dispositivos serie.

WLAN: Wireless Local Area Network, es un sistema de comunicación inalámbrico para minimizar las conexiones físicas.

WSN: Wireless Sensor Network, es una red de nodos equipados con sensores que colaboran en una tarea común.

1 INTRODUCCIÓN

El descubrimiento del fuego supuso un gran avance para la humanidad. Las investigaciones de los restos arqueológicos hallados indican que el *Homo Erectus* ya utilizaba el fuego hace ya 1.600.000 años. Gracias al fuego los seres humanos pudieron calentarse, cambiaron el modo de alimentarse, tuvieron una nueva defensa frente a depredadores y por supuesto iluminación durante la noche.

Es cierto que los incendios son necesarios en la naturaleza para restablecer el equilibrio ecológico y facilitar la regeneración. Con el paso del tiempo, el suelo de los bosques se llena de residuos y maleza que compite con los árboles por los nutrientes del suelo y el agua. El fuego también es un mecanismo contra infestaciones de insectos, hongos y enfermedades potenciales. Incluso la fauna puede verse obligada a desplazarse en ciertas ocasiones. Es por esta razón, que los incendios de baja intensidad limpian los suelos con un mínimo daño al ecosistema.

Pero desde el descubrimiento del fuego por parte de los humanos ha supuesto un desequilibrio en el ciclo del fuego en los ecosistemas. Actualmente el 4% de los incendios forestales son producidos por motivos naturales, esto quiere decir que el 96% de los incendios son a causa del ser humano.

Los incendios forestales repercuten en la diversidad biológica. A nivel mundial, son una gran fuente de emisión de carbono a la atmosfera, con lo cual, es un gran contribuyente en el calentamiento mundial. Modifican los niveles de biomasa, desequilibran los ciclos hidrológicos. Asimismo, el humo procedente de los incendios puede obstaculizar la actividad fotosintética y perjudicar la salud de los seres humanos y de los animales.

1.1 OBJETIVOS

En este proyecto se realizará un estudio sobre las medidas actuales en la prevención y la detección de incendios forestales. Así mismo, se analizará las ventajas y desventajas de diferentes formas de detección de incendios para poder mejorar la detección actual.

Por otro lado, en cuanto a comunicación inalámbrica y más específicamente en las IoT, se pretende comparar las diferentes tecnologías existentes y crear una red capaz de comunicarse enviando información para poder prevenir y detectar posibles incendios. Además, se buscará diferentes formas para la detección de fuegos, siempre teniendo en cuenta el balance entre prestaciones y coste.

Y para finalizar, en todo momento se tendrá una visión realista ante la posibilidad de implementación del proyecto en situaciones reales. Es por ello que se mantendrán reuniones con especialistas en incendios forestales.

1.2 MOTIVACIÓN

Este proyecto surge a partir de los devastadores incendios de 2017 y 2018 los cuales han causado graves daños y la pérdida de vidas humanas. En estos últimos años el número de incendios forestales han ido en aumento ocasionado elevados daños. Parte de los daños son irreparables y los otros tardarán años en recuperarse además del elevado coste tanto económico como social que comportan.

Citando a John F. Kennedy, “No te preguntes qué puede hacer tu país por ti, pregúntate que puedes hacer tú por tu país”, nace la intención de aportar mi granito de arena para ayudar en la prevención y detección de incendios forestales y así poder evitar grandes catastrofes e intentar salvar vidas humanas.

2 INCENDIOS FORESTALES

El 2017 y 2018 serán recordados como unos de los años de mayor actividad de incendios en todo el mundo. A medida que el clima se calienta, los niveles de humedad y precipitación están variando de tal manera que áreas húmedas se vuelven más húmedas y áreas secas son cada vez más secas.

Las temperaturas más altas en primavera que provocan el derretimiento de la nieve más temprano causa que los suelos estén más secos por más tiempo. Como resultado, la probabilidad de sequía y una temporada más larga de incendio forestales aumenta.

Por otro lado, el factor humano tanto en prevención y gestión de los incendios forestales como en la imprudencia e incendios provocados son otro de los factores de riesgo.

Únicamente un 4% de los incendios forestales en todo el mundo son debidos a causas naturales, por ejemplo, elevadas temperaturas, sequías, rayos o erupciones volcánicas. [1]

El 96% restantes son responsabilidad del ser humano directamente o indirectamente, provocados o por imprudencias.

A continuación se citará cinco de los más significantes incendios forestales alrededor del mundo durante el 2017.

En Utah, Estados Unidos, 162.400 hectáreas quemadas, 1.500 personas tuvieron que ser desalojadas, 800 funcionarios intentando extinguir los focos del incendio. Más tarde se descubrió que el incendio fue ocasionado mientras un individuo utilizaba una antorcha para quemar maleza.[2]

Bosque de Siberia y el Lejano Oriente ruso, Rusia, Casi 70.000 hectáreas quemadas, 103 focos diferentes, 1.000 bomberos participaron en la extinción del fuego. En las primeras 24h se quemó casi 22.000 hectáreas. La gran parte de los focos de incendio fueron consecuencia de tormentas.[3]

En Pedrógão Grande, Portugal, alrededor de 53.000 hectáreas quemadas, alrededor de 2.000 efectivos para extinguir el incendio. El incendio fue ocasionado por una intensa ola de calor que provocó que las temperaturas aumentarían por encima de los 40°C y una disminución de la humedad considerablemente. [4]

Parque Natural de Doñana en Huelva, España, 8.486 hectáreas de matorral y arbolado quemados, 2.000 desalojados, cerca de 300 bomberos en labores de extinción.[5]



Figura 1 Incendio en Pedrógão Grande, Portugal

Una ola de incendios en Galicia, España, se llevó por delante más de 49.000 hectáreas, 264 focos. Gran parte de los focos fueron ocasionados por el factor humano, a causa de imprudencias y despiste como ocasionados voluntariamente.[6]



Figura 2 Bomberos combatiendo el incendio de Galicia

Este 2018 tampoco se ha quedado atrás en cuanto a incendios. El más reciente y de mayor gravedad ha estado en Grecia. En cinco días ardió 46.000 hectáreas. Ha habido casi un centenar de fallecidos y un gran número de heridos. Se sabe que ha sido un incendio provocado con fines inmobiliarios. [7]

En todos los incendios mencionados hubo un gran número de heridos y también de pérdidas humanas. Además de las pérdidas de inmuebles, terrenos y ganado entre otros.

El coste económico debido a los incendios forestales son muy elevados. Por ejemplo, en Galicia cuestan entre 360 y 488 millones de euros al año entre las labores de extinción, el valor de las rentas perdidas y de los servicios ambientales que ofrece el bosque y dejará de aportar. Hay que recordar que estas cifras no incluyen valores como la pérdida de vidas humanas, el daño psicológico de las personas afectadas y la biodiversidad perdida.[8]

2.1 INCENDIOS FORESTALES ESPAÑA

Según informes de Greenpeace, España es uno de los países de la Unión Europea más afectada por los incendios forestales y con gran riesgo de incendio. Un problema que se ve intensificado debido a los efectos del cambio climático.[9]

La falta de prevención, la inversión económica insuficiente para medios de prevención y extinción, la falta de información y conocimientos a quienes tienen fincas en el monte y viven en entornos forestales, campings o urbanizaciones aisladas. Pero el factor principal es la disposición y actitud de la administración pública frente a este tema, debido a que poseen las capacidades y responsabilidades de la legislación, investigación, gestión y dotación de recursos.

2.1.1 VOLUMEN INCENDIOS ESPAÑA

Las estadísticas de incendios forestales publicadas por El Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente, se elabora a partir de la información enviada de las comunidades autónomas. Los datos de 2016 y 2017 aún son provisionales y pueden tener alguna pequeña variación a la espera de la publicación de los datos oficiales.

	MEDIA DEL DECENIO 2007-2017 (01/01-31/12)	AÑO 2017 (01/01-31/12)
Nº CONATOS (<1 ha)	8.228	8.705
Nº INCENDIOS (≥1 ha)	4.135	5.088
TOTAL SINIESTROS	12.363	13.793

Tabla 1 Volumen incendios y conatos en España

El número total de siniestros ha aumentado un 11,57% con respecto la media de la última década y un 23,05% el número de incendios. Para España ha sido el tercer año con mayor número de siniestros detrás de 2009, 2011 y 2012.

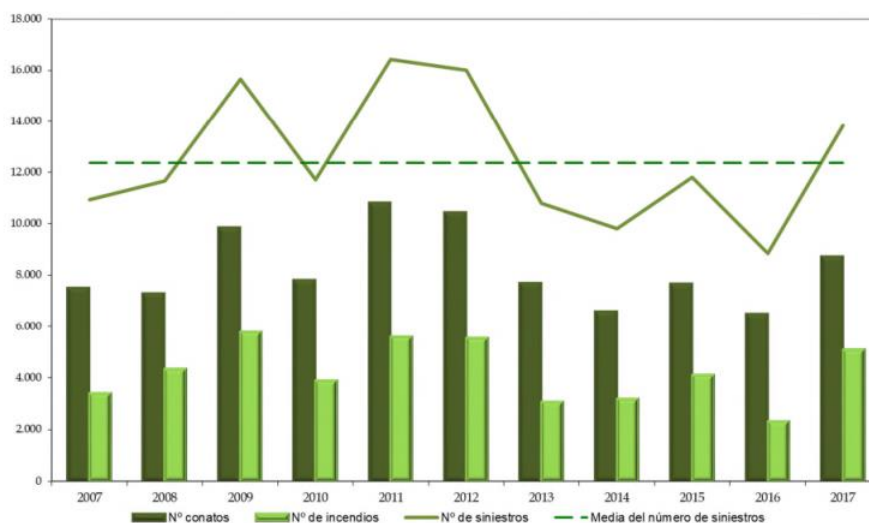


Figura 3 Gráfico incendios forestales en España del 2007 al 2017

2.1.2 EVOLUCIÓN INCENDIOS DE 2007 A 2017

Respecto a la superficie afectadas se produce un aumento significativo respecto a la media del decenio siendo de un 145% en superficie arbolada y un 94% en superficie forestal.

	MEDIA DEL DECENIO 2007-2017 (01/01-31/12)	AÑO 2017 (01/01-31/12)
S. ARBOLADA (ha)	27.226,41	66.839,02
S. FORESTAL (ha)	91.846,74	178.233,93

Tabla 2 Comparativa superficie quemada arbolada y forestal

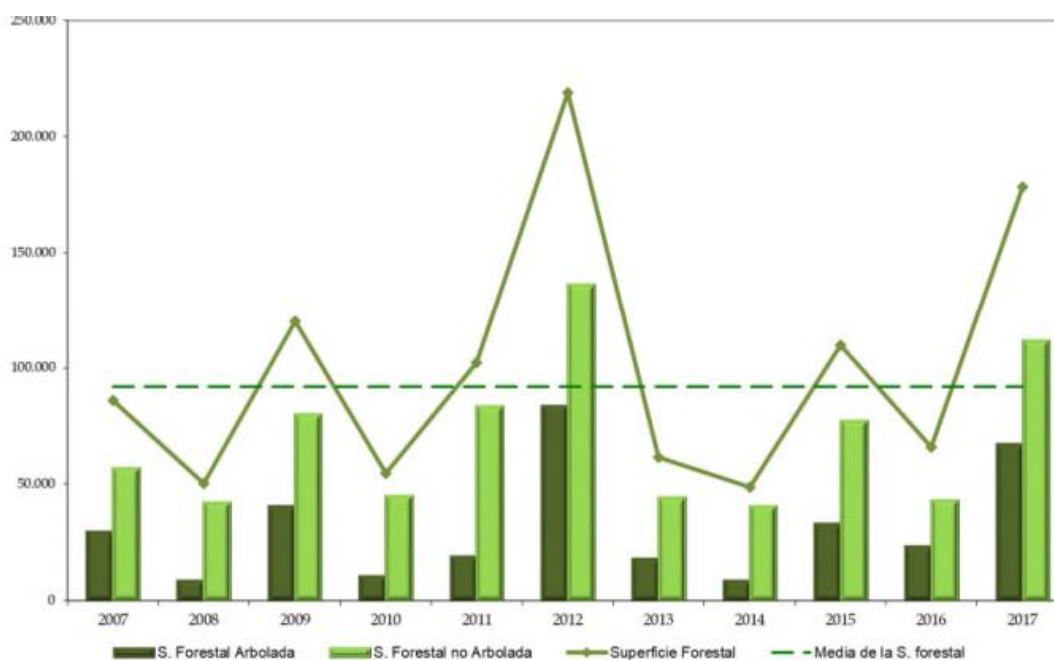


Figura 4 Comparativa superficie quemada arbolada y forestal

Debido a la diversidad del territorio nacional en cuanto a meteorología, topografía y vegetación, se afronta el análisis de la siniestralidad de los incendios forestales de acuerdo a cuatro regiones.

Noroeste: Comprende las comunidades autónomas de Galicia, Asturias, Cantabria, País Vasco y las provincias de León y Zamora.

Mediterráneo: Abarca las comunidades autónomas costeras con el mar Mediterráneo.

Canarias: Incluye todo el archipiélago canario.

Comunidades Interiores: Comprende las provincias del resto de comunidades no costeras, excepto León y Zamora.

Teniendo en cuenta la superficie forestal afectada por los incendios, la región Noroeste sigue representando el mayor porcentaje de afectación con un 73,84%.

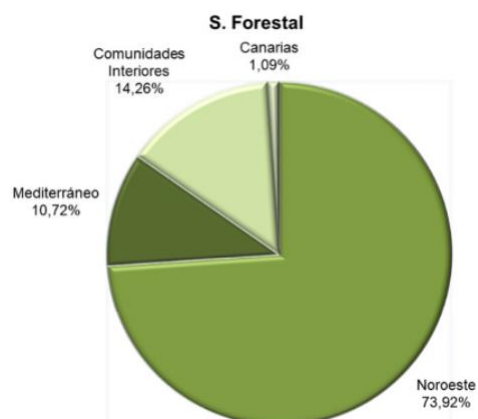


Figura 5 Número de incendios forestales

La Figura 6 muestra los incendios forestales producidos en España durante el 2016. Podemos ver cómo se concentran en la zona Noroeste como se ha mencionado anteriormente.

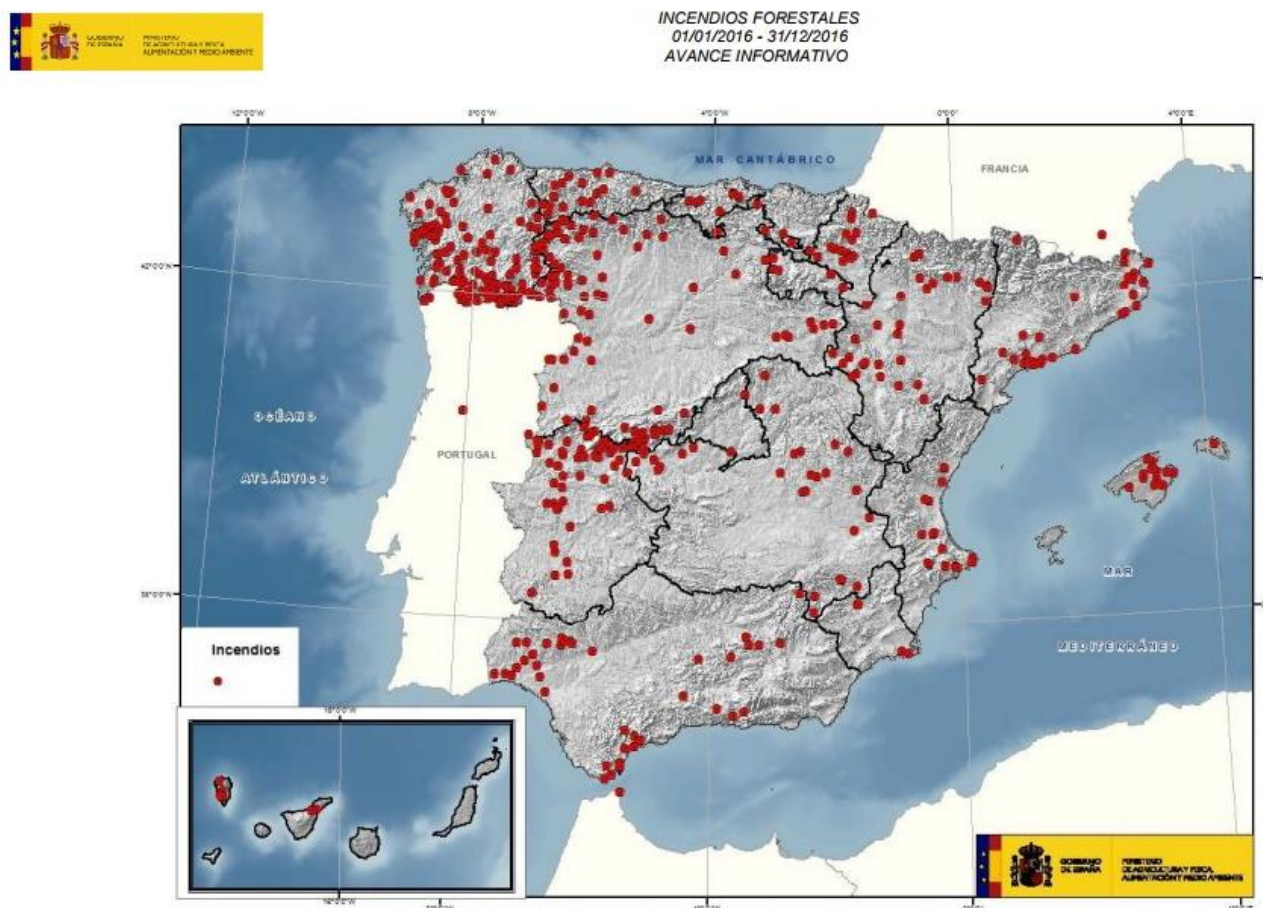


Figura 6 Distribución incendios forestales 2016 España

2.1.3 PREVENCIÓN Y DETECCIÓN INCENDIOS ESPAÑA

La prevención de incendios en España sigue el Plan de Actuaciones Contra los Incendios Forestales que es aprobado por El Consejo de Ministros. Este plan cuenta con la participación de los Ministerios de Justicia, Defensa, Interior, Fomento, Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente, Economía, Industria y Competitividad.

El Plan de Actuaciones Contra los Incendios Forestales comprende las acciones de coordinación técnica entre el Ministerio de Medio Ambiente junto con las diferentes administraciones públicas y agencias competentes en la defensa y lucha contra los incendios forestales.[10]

En 2015 el gasto para la prevención de incendios fue de 700 millones de € según la Agencia EFE.

En las labores de prevención tenemos por un lado la existen una Brigada de Labores Preventivas contra incendios forestales (BLP) cuya función consiste en la reducción y el control de combustibles forestales, dificultando la propagación del fuego y facilitando las posibles acciones de extinción. Este control se consigue mediante desbroces, podas, etc. para romper la continuidad entre los estratos de vegetación.

Por otro lado, cada año se lanzan campañas de sensibilización e información a través de medios de comunicación, campañas escolares y rurales. Estas campañas buscan la conciencia ecológica de los ciudadanos y mostrar los riesgos de actividades rutinarias que pueden ocasionar incendios.[11]

Además, el cuerpo de la Guardia Civil de Seguridad de Protección de la Naturaleza (SEPRONA) junto con el cuerpo de bomberos y agentes rurales, patrullan diariamente las zonas de mayor riesgo de incendio en busca de posibles acciones de ciudadanos que pongan el riesgo estas zonas forestales.[12][13]

Las zonas de riesgo de incendio se actualizan a diario. La Agencia Estatal de Meteorología lanza cada mañana el mapa con la probabilidades de riesgo de incendio del territorio nacional.

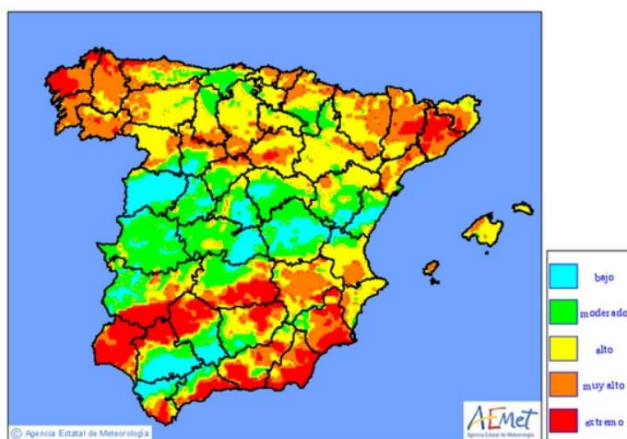


Figura 7 Zonas de riesgo de incendio 25/06/2017

La detección de incendios en España está regulada en el marco de la normativa forestal y de protección civil. El Plan Forestal Español, aprobado en 2002 hasta el 2032, establece medidas de detección.

		VENTAJAS	INCONVENIENTES
Vigilancia Terrestre Fija	Tradicional: Atalayas, Casetas o refugios	<ul style="list-style-type: none"> Gran campo de visión Bajo coste de mantenimiento Vigilancia continua dependiendo del despliegue 	<ul style="list-style-type: none"> Existencias de puntos muertos de visión Subjetividad en la localización del incendio Dificultad de detección en condiciones atmosféricas adversas Alto coste instalación inicial Elevado número de personal para vigilancia continua
	Cámaras Infrarrojos	<ul style="list-style-type: none"> Amplio campo de visión Posibilidad de detección en condiciones de visibilidad reducida Automatización de la detección (suprime subjetividad) Detección nocturna Precisión de localización Detección de humo (fase temprana del incendio) 	<ul style="list-style-type: none"> Dificultad de discriminación de falsas alarmas Alto coste del instrumental, instalación y mantenimiento Complejidad. Necesidad de soporte técnico Alcance limitado y exclusivo de las zonas expuestas
Vigilancia Terrestre Móvil		<ul style="list-style-type: none"> Observación directa y posibilidad de primera intervención Localización del incendio Eficaz en verificación de alarmas Efecto disuasorio Posibilidad de dar información 	<ul style="list-style-type: none"> Vigilancia discontinua Campo de visión reducido Necesidad de planificar rutas Coste y mantenimiento de vehículos
Vigilancia Aérea	Aeronave Tripulada	<ul style="list-style-type: none"> Gran campo de visión instantáneo Extensas zonas vigiladas Eficaz en verificación de alarmas Posibilidad de información precisa de la localización del incendio Posibilidad de actuar como aeronave de vigilancia y de primera intervención Posibilidad de llevar incorporados sistemas de grabación y otros avances 	<ul style="list-style-type: none"> No puede operar bajo condiciones meteorológicas adversas Coste elevado Vigilancia discontinua Necesidad de planificar rutas Posibles condiciones de peligro para la tripulación
	Drone	<ul style="list-style-type: none"> Capacidad operativa (tiempo y luz) No hay peligro para el piloto Extensa zonas vigiladas Capacidad de monitorización del terreno Transmisión sencilla de la información 	<ul style="list-style-type: none"> Elevado coste de adquisición Coste de mantenimiento Tiempo de vuelo reducido (duración batería) Complejidad del instrumental. Necesidad de soporte técnico Necesidad de planificar rutas
Teledetección		<ul style="list-style-type: none"> Automatización del proceso Detección de fuegos en zonas remotas 	<ul style="list-style-type: none"> Largos tiempos de procesamiento Baja resolución Elevado coste de adquisición Frecuencia insuficiente de datos Necesidad de resolución eficiente de los datos adquiridos

Tabla 3 Métodos de prevención y detección de incendios

No obstante, la gran parte de la detección de incendios viene por parte de la ciudadanía con avisos al número de emergencias 112, llamadas directamente a los servicios de bomberos, agentes rurales y guardia civil, a través de las redes sociales (Facebook y Twitter). [14]

Avisos de incendios

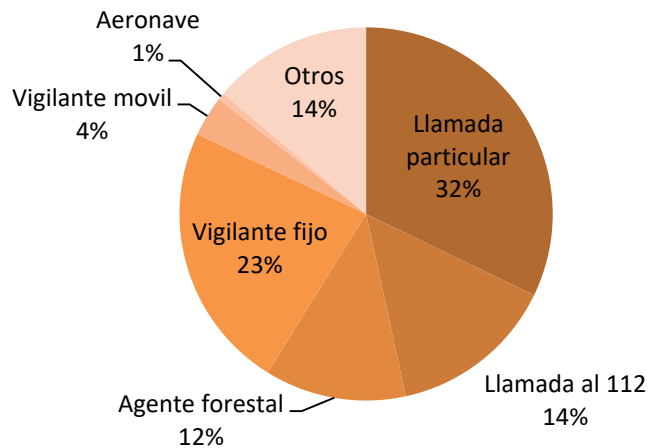


Figura 8 Distribución de avisos de incendios según fuente

El 96% de los incendios son causados por el factor humano, es por esta razón que en caso de imprudencia el propio ciudadano es quien informa a las autoridades del incendio. Cuando el incendio es provocado intencionalmente, los avisos principalmente vienen de vecinos de la zona y de los sistemas de detección terrestre, aéreo y teledetección en menor medida.

2.2 CONSECUENCIAS INCENDIO FORESTAL

El impacto económico, social y ambiental tras un incendio forestal va más allá que las impactantes imágenes del fuego y de las pérdidas instantáneas que se pueden visualizar.^{[15][16][17]}

2.2.1 IMPACTO ECONÓMICO

Como hemos podido comprobar, el impacto económico de un incendio forestal es elevado. Por un lado tenemos la pérdida de la madera y productos derivados, que van desde el papel hasta el combustible, y los cultivos de la zona. La pérdida de cultivo se refiere al cultivo que estuviera sembrado en ese momento y el suelo donde se cultiva, esto es debido a la destrucción del suelo que puede inhabilitar esa zona para futuros cultivos.

Por otro lado, el coste de las labores de extinción y de regeneración de la zona, las pérdidas de inmuebles, indemnizaciones, costes sanitarios y la posible pérdida de las actividades de ocio y turismo que se pudieran realizar en la zona.

2.2.2 IMPACTO SOCIAL

Las primeras consecuencias que se pueden observar son los heridos y las víctimas mortales. A esto hay que sumar las secuelas psicológicas tanto de los heridos como de los familiares de las víctimas. Adicionalmente, actividades de trabajo que se realicen en la zona afectada o que utilicen recursos de esa zona se ven afectadas. Esto se manifiesta en la reducción de beneficios, reducción de empleados y el posible cese de esta actividad. Como consecuencia la calidad de vida de estas familias se ve reducida.

2.2.3 IMPACTO AMBIENTAL

A nivel ambiental podemos dividirlo en el impacto sobre la vegetación, la fauna, el balance hidrológico, la erosión del suelo, y por último el impacto de la calidad de la atmósfera.

2.2.3.1 IMPACTO SOBRE LA VEGETACIÓN

Los ecosistemas vegetales de mayor antigüedad arden con más dificultad que otras formaciones vegetales y su regeneración es más rápida.

La recuperación de la vegetación afectada por un incendio depende de la adaptación de estas mismas al fuego (especies mejor adaptadas al fuego son las especies llamadas pirófila) y de las condiciones ambientales después del incendio; temperatura, humedad, fertilidad del suelo.

Después de un incendio empiezan a recuperarse las especies con mecanismos de resistencia al fuego como las plantas herbáceas. Esto es debido a la ausencia de plantas competidoras, la velocidad de crecimiento muy rápida, la germinación prácticamente completa de todas las semillas que caen al suelo y su adaptación todoterreno que les permite crecer en prácticamente cualquier lugar.

Con el paso del tiempo, inicia la regeneración de las especies antes existentes que van desplazando a las especies que en un primer momento fueron creciendo.

Respecto a los hongos, después de un incendio el pH del suelo aumenta. Los hongos se adaptan a suelos ácidos, por lo tanto, la fertilidad del suelo para los hongos disminuye.

En el caso de las bacterias, en un primer momento se destruyen todas debido a la temperatura. Más tarde, debido al aumento del pH del suelo favorece la recuperación de éstas.

Sin embargo, la reincidencia de los incendios en un mismo lugar conlleva a que las especies mejor adaptadas al fuego se conviertan en dominantes y que la vegetación sea cada vez más pirófitas.



Figura 9 Zona quemada después de un incendio forestal

2.2.3.2 IMPACTO SOBRE LA FAUNA

Evidentemente, la fauna que más sufre los efectos de un incendio forestal son aquellos que su movilidad es reducida, de manera que no pueden escapar del fuego, de la onda de calor o de los gases. Un ejemplo son los animales invertebrados.

La pérdida de la vegetación provoca la destrucción de la cadena trófica dificultando la regeneración de la fauna debido a la ausencia del estrato vegetal y las condiciones del suelo.

Especies como las aves y vertebrados de mayor movilidad, pueden huir de la zona con mayor facilidad hacia zonas colindantes. A medida que se vaya regenerando la vegetación de la zona afectada por el incendio, estos animales en principio pueden ir recolonizando la zona pero es verdad que las poblaciones de los animales se ve afectada por la pérdida del hábitat, de los recursos tróficos y de sus lugares de refugio.



Figura 10 Ciervo en zona de incendio

Como en el caso de la vegetación, una repetición de los incendios en una zona provoca el abandono definitivo de las especies más características de esa zona y que son sustituidas por otras especies más generales mejor adaptadas a zonas sin cubierta arbórea.

2.2.3.3 IMPACTO SOBRE LOS BALANCES HIDROLÓGICOS

Por un lado, la cubierta vegetal se ve reducida la cual evitaba la erosión del suelo y que permitía el retorno del agua de la lluvia a la atmósfera.

Por otro lado, la impermeabilidad del suelo se incrementa impidiendo la penetración del agua. A causa de esto, las aguas que drenan los suelos quemados presentan un alto potencial erosivo. Además son aguas muy turbias debido a las partículas y cenizas que porta y que se van depositando en los fondos de ríos y embalses.

Así mismo, la infiltración de agua se reduce drásticamente debido a la compactación del suelo al quedar poros obturados impiden la penetración del agua. Como consecuencia de esto, la escorrentía superficial aumenta con lo cual la erosión del suelo aumenta también.

2.2.3.4 IMPACTO SOBRE EL SUELO

La erosión del suelo es el daño ecológico más grave debido a la dificultad de recuperación. No solo se produce una erosión física sino que también se produce la erosión química del suelo. Es decir, se pierden nutrientes del suelo y la fertilidad del terreno disminuye.

La erosión en las zonas que han sido afectadas por un incendio aparece principalmente con las primeras lluvias y, en el caso del clima mediterráneo, durante los dos primeros meses.

Después del incendio, la materia orgánica se puede mineralizar y enriquecer la tierra en forma de nutrientes. El incremento de la fertilidad puede ser hasta 10 veces mayor que antes del incendio pero esta fertilidad es momentánea. Tras el primer año, la gran parte de estos nutrientes se pierden ya que son nutrientes con elevada solubilidad.

Como es comprensible, cuanto más intenso y mayor es un incendio, mayor es la pérdida de los nutrientes.

2.2.3.5 IMPACTO DE LA CALIDAD DE LA ATMÓSFERA

La combustión de la vegetación emite importantes cantidades de CO₂, compuestos nitrogenados y hidrocarburos. En cualquier caso, las cantidades emitidas en un incendio son inferiores a las cantidades emitidas por la combustión de combustibles fósiles usados a diario.

Los compuestos más contaminantes se liberan cuando la combustión es incompleta, cuando el frente de fuego es muy rápido o en las combustiones humeantes.

2.3 FACTORES PARA LA PREVENCIÓN Y DETECCIÓN DE INCENDIOS

2.3.1 REGLA DEL 30

A la hora de determinar en qué zonas hay más riesgo de incendio que en otras, los expertos en la materia utilizan la “Regla del 30”. Para poner una zona en alerta por peligro de incendio forestal se necesita que se den estas condiciones: temperatura superior a 30°C, una humedad relativa inferior al 30% y una velocidad del viento superior a 30 km/h. Cuando se dan estas condiciones hay un alto riesgo de que un conato se convierta en un incendio forestal.

Igualmente, existen otros factores que se podrían incluir en la Regla del 30. Por un lado, 30 días sin llover en la zona (baja humedad del suelo y la vegetación) y por otro lado que la pendiente del terreno tenga más de 30%. A más pendiente, mayor es la velocidad de propagación del fuego, y a partir de 30% de inclinación, el acceso de las dotaciones de extinción terrestres es muy complicado.^[18]

2.3.2 DETECCIÓN DE HUMO

Un sistema para la detección de incendios es la detección del humo producido por la combustión, no solamente forestal. Existen detectores que detectan la presencia de humo en el aire y específicamente para incendios forestales existen las cámaras de detección de columnas de humo.

Existen diferentes tipos de detectores de humo:

Detector de rayo infrarrojo: Estos detectores están compuestos por un diodo infrarrojo emisor y un diodo infrarrojo receptor. Cuando la zona entre el emisor y el receptor se oscurece a causa del humo, solo parte del haz infrarrojo emitido llega al receptor y se genera una señal eléctrica detectable y se activa la alarma.

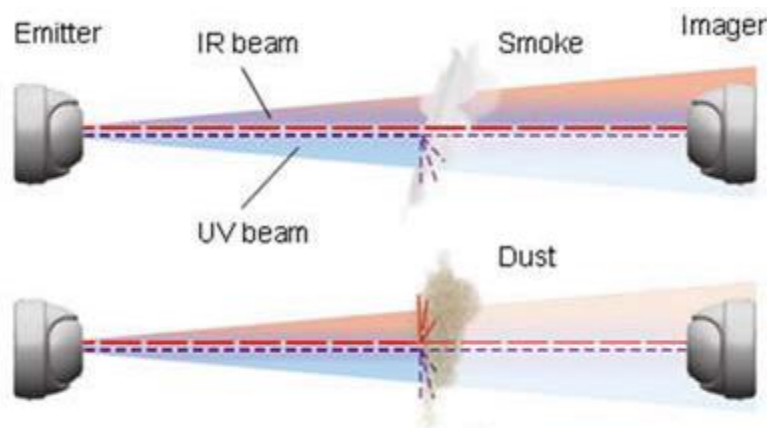


Figura 11 Detector de incendio por rayos infrarrojos

Detector de tipo puntual: Estos detectores están también compuestos por un diodo emisor y un diodo receptor. Estos diodos debes de estar en la misma cámara pero colocados de manera que el emisor no alcanza al receptor. Cuando haya presencia de humo en la cámara, el haz luminoso emitido por el diodo emisor se refracta en las partículas del humo y alcanza al receptor y produce una señal eléctrica detectable para dar la alarma.

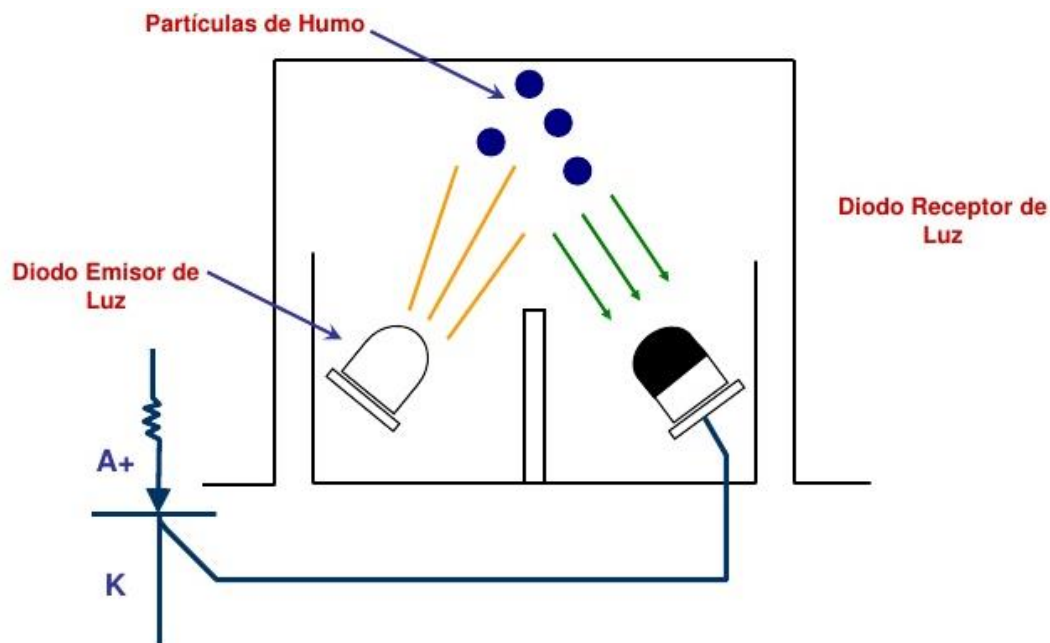


Figura 12 Detector de incendio por infrarrojo de tipo puntual

De estos detectores ópticos existen dos tipos, los detectores analógicos y los digitales. El primero, analógico, su tecnología es más sencilla y su consumo es menor pero por contra, no puede verificar si realmente es humo o si es polvo. Por otro lado, los detectores digitales incluyen un pequeño microcontrolador que mediante algoritmos verifica si es humo o suciedad antes de enviar la señal de alarma.

Detector iónico: Es capaz de detectar partículas pequeñas que no influyen en el paso del haz de luz (pudiendo provocar errores en los dos tipos anteriores explicados). Este detector está compuesto por una pequeña cantidad de Americio-241 que emite radiación alfa. La radiación alfa pasa a través de la cámara ionizando el aire, en la que se encuentra dos electrodos, permitiendo el paso de una pequeña corriente eléctrica. Ante la presencia de humo, la conductividad de la cámara disminuye con lo cual la corriente eléctrica disminuye también. El principal inconveniente de estos dispositivos es su gestión como residuos, es por esta razón que ha sido prohibida su comercialización.

Y por último, las cámaras de detección de columnas de humo. Como su nombre indica, son cámaras que mediante un software de tratamiento de imagen permite detectar columnas de humo a gran distancia.

2.3.3 DETECCIÓN DE INCENDIO MEDIANTE INFRARROJOS

Todos los objetos emiten radiación infrarroja (IR) en función de su temperatura. La radiación viene definida por la Ley de Plank, que conecta el flujo energético y la longitud de onda:

$$M_{T,\lambda} = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5 \left\{ e^{\frac{hc}{\lambda kT}} - 1 \right\}}$$

Figura 13 Ecuación Ley de Plank, flujo energético y longitud de onda

Los incendios emiten radiación en la banda infrarroja de manera similar a un cuerpo negro. Esta radiación tiene una distribución definida por la Ley de Plank que depende de la propia temperatura del fuego.

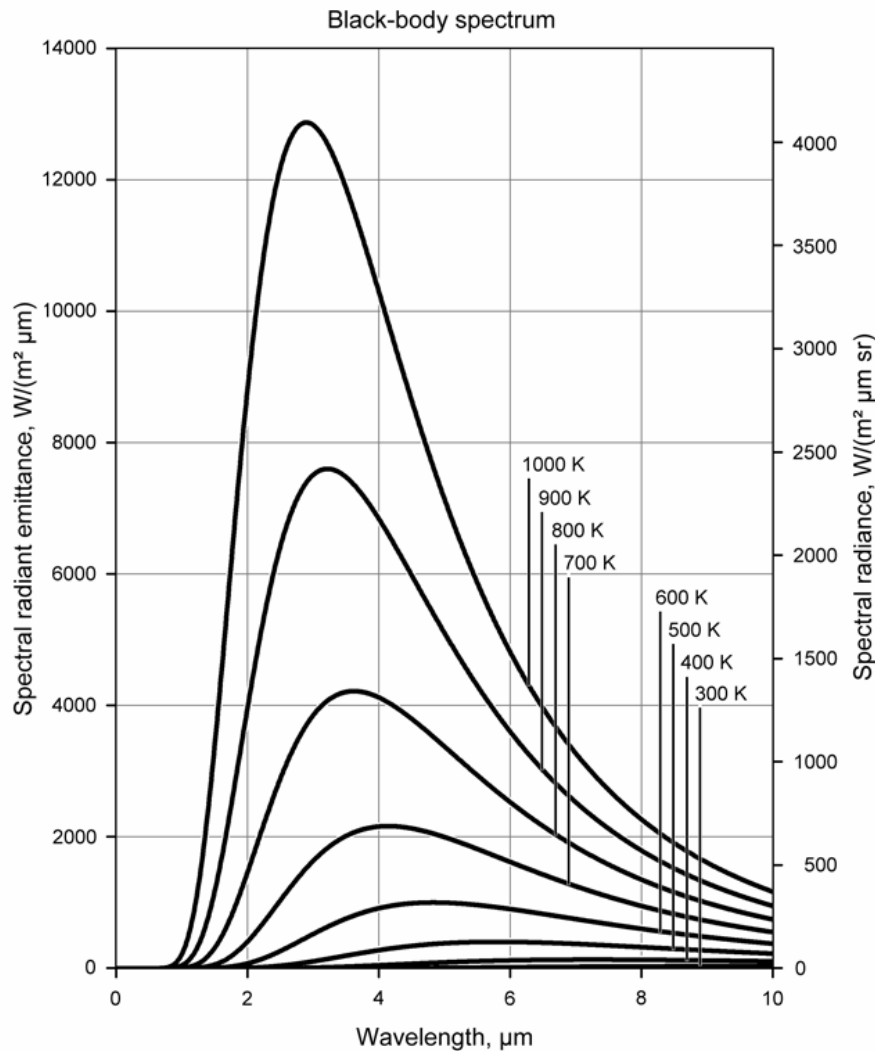


Figura 14 Distribución radiación infrarroja por temperatura

Los sistemas de imagen infrarrojos permiten la detección y la visualización del avance del fuego a través del humo. La mayoría de estos sistemas usan cámaras en la banda del infrarrojo térmico (TIR) entre $8\text{ }\mu\text{m}$ y $12\text{ }\mu\text{m}$. Este tipo de sistemas es susceptible de falsas alarmas producidas por reflejos solares (radiación infrarroja del Sol $9,7\mu\text{m}$).

Durante un incendio forestal debido al CO_2 caliente, la intensidad de banda de emisión infrarroja se sitúa en la banda infrarroja medio (MIR), entre $4,2\text{ }\mu\text{m}$ y $4,9\mu\text{m}$.

Mediante fotodiodos y/o fototransistores sensibles en ese rango se podría detectar un incendio eliminando las falsas alarmas a causa del Sol.[19][20]

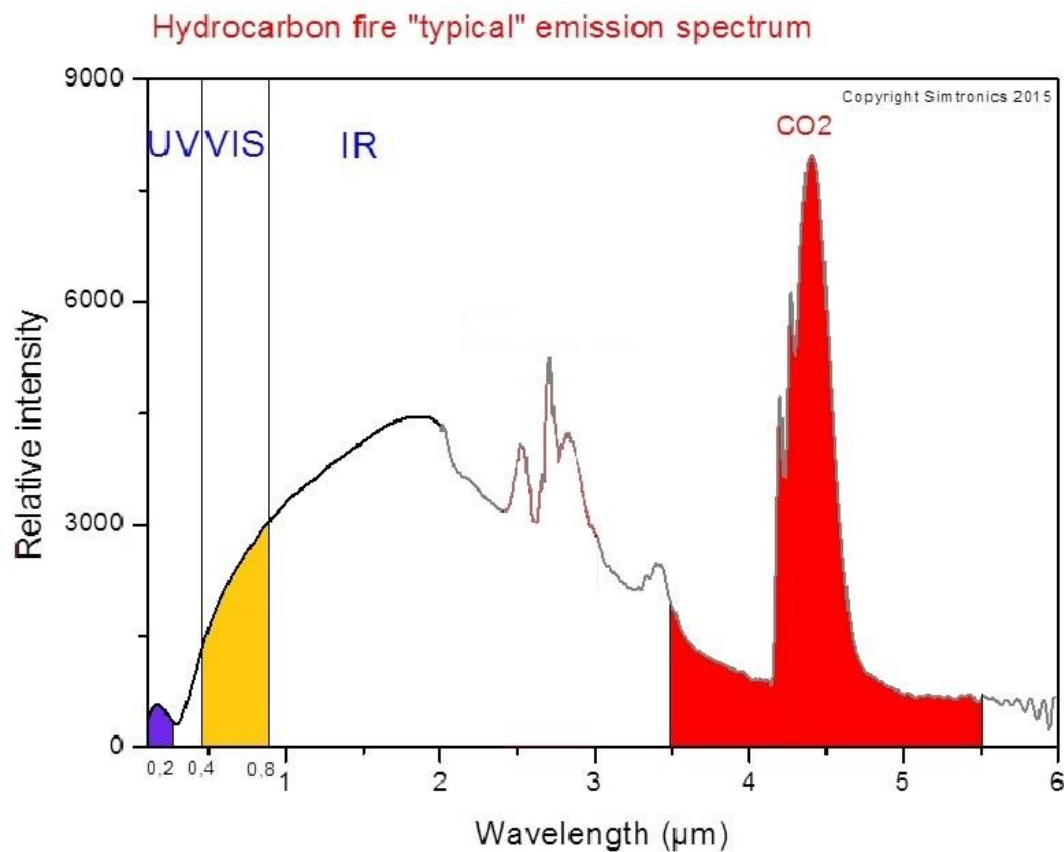


Figura 15 Espectro emitido típico durante un incendio

2.4 PROPUESTA DE LA LOCALIZACIÓN PARA IMPLEMENTACIÓN

Gracias a las reuniones realizadas con los Agentes Rurales de Servicio de Protección de Incendios en Santa Perpètua de Mogoda y con los Bomberos de Área Forestal y departamento Tecnológico en Cerdanyola del Vallès, llegamos a la conclusión de que el lugar más idóneo en Cataluña para la instalación de un sistema de detección y prevención de incendios es en el Parque Natural de la Sierra de Collserola.

La vigilancia del Parque Natural de la Sierra de Collserola es competencia de la Diputación de Barcelona. Este parque es el lugar donde más se invierte económicamente en toda Cataluña para la protección de incendios debido a su localización. Después de reunirme con el departamento de proyectos para vigilancia e incendios, me comunicaron que la instalación de una red de sensores con comunicación sin cables y de bajo consumo podría ser factible.

2.4.1 PARQUE NATURAL DE LA SIERRA DE COLLSEROLA

Gracias a las reuniones realizadas con los Agentes Rurales de Servicio de Protección de Incendios en Santa Perpètua de Mogoda y con los Bomberos de Área Forestal y departamento Tecnológico en Cerdanyola del Vallès, llegamos a la conclusión de que el lugar más idóneo en Cataluña para la instalación de un sistema de detección y prevención de incendios es en el Parque Natural de la Sierra de Collserola.

La vigilancia del Parque Natural de la Sierra de Collserola es competencia de la Diputación de Barcelona. Este parque es el lugar donde más se invierte económicamente en toda Cataluña para la protección de incendios debido a su localización. Después de reunirme con el departamento de proyectos para vigilancia e incendios, me comunicaron que la instalación de una red de sensores con comunicación sin cables y de bajo consumo podría ser factible. [21]

2.4.2 LOCALIZACIÓN

El parque está situado en la provincia de Barcelona que abarca todo el límite norte de la ciudad, con el Tibidabo como colina más emblemática. La Sierra de Collserola una prolongación de la Cordillera Litoral catalana. La Sierra de Collserola fue declarada parque natural en noviembre del 2010.



Figura 16 Ubicación Parc Natural de la Sierra de Collserola

2.4.3 BIODIVERSIDAD

El parque natural cuenta con 8.295 hectáreas. La vegetación predominante es el bosque mediterráneo caracterizado por el dominio del árbol de la encina. Otros árboles presentes son el roble, arces blancos y negros, álamos, chopos y fresnos. Debido a los incendios forestales que cíclicamente han ido afectando al bosque, los encinares han sido siendo sustituidos por coníferas como los pinos. Entre árboles frutales destacan el avellano, el cerezo y el granado. El sotobosque es bastante denso, con arbustos de distintas alturas, encontramos agnóstico, espino albar, madreselva, entre otros.



Figura 17 Zona boscosa en Collserola

En tema de fauna, el grupo con más representación en el parque de Collserola son las aves, con un total de 130 especies diferentes. También podemos encontrar ardillas, ratones de campo, jabalíes y jinetas.

2.4.4 RIESGO INCENDIO

Debido a su localización cerca del área metropolitana, la urbanización en todos los municipios del entorno de Collserola y la dificultad de acceder con medios terrestres en diversas zonas, hace que el Parque Natural de la Sierra de Collserola sea el principal punto de riesgo de incendio en toda Cataluña. No tanto por el riesgo de incendio sino más bien por los posibles daños causados por uno. Cabe añadir que en determinadas zonas el precio de los habitajes pueden llegar a más de 3.000.000€.



Figura 18 Aeronave extinguiendo incendio en Collserola

Por estas razones, ante un aviso de incendio en el Parque de Collserola, tan solo disponen de tres minutos para que lleguen los primeros efectivos en la zona del posible incendio. Es por ello que frente a un aviso de un posible incendio, envían tanto medios terrestres como aéreos. Esto supone un alto gasto económico si se trata de una falsa alarma.

3 TECNOLOGÍAS DE COMUNICACIÓN IOT

Actualmente existen diversas tecnologías, compañías y operadores de muy bajo consumo, largo alcance y un coste bastante bajo en los dispositivos. Entre ellos podemos destacar SigFox, LoRa y XBee en las tecnologías de bandas de espectro no licenciadas. Y en las bandas de espectro licenciadas, se destaca la evolución del LTE/4G que son adaptadas al IoT, Long Term Evolution for Machines (LTE-M) y NarrowBand IoT (NB-IoT).

3.1 SIGFOX

Es un operador francés que despliega y gestiona su propia red basada en su propia tecnología. En España opera por Cellnex Telecom.

SigFox permite transmitir datos de hasta 12 bytes, con el límite de 140 mensajes al día. La red funciona con la tecnología de transmisión Ultra Narrow Band (UNB) que consiste en emplear canales estrechos del espectro con el mínimo de energía posible. Para la transmisión utiliza el estándar de radio llamado, desplazamiento de fase binaria (BPSK). SigFox es compatible con Bluetooth, GPS, redes 2G, 3G y 4G y con WiFi.

Actualmente, la red SigFox está presente en 30 países, como por ejemplo España, Francia, México y Estados Unidos. [22]



Figura 19 Red SigFox

3.2 LORA

LoRa Alliance es una organización sin fines de lucro, que se dedica a promover la interoperabilidad y estandarización de las tecnologías de redes LPWAN para impulsar el IoT.

LoRa utiliza un tipo de modulación en radiofrecuencia patentado por Semtech, llamada Chirp Spread Spectrum (CSS). Se usa en comunicaciones militares y espaciales. Su mayor ventaja es lograr comunicaciones a grandes distancias. Tiene alta tolerancia a las interferencias y permite el envío de hasta 242 bytes. LoRa utiliza también la banda ISM, Europa en la banda de 868MHz y 915 MHz en América.
[23]

La arquitectura típica de Lora es en la que los dispositivos LoRa envían información a un Gateway LoRa que mediante conexión TCP envía la información por 3G, WiFi o Ethernet hacia un servidor el cual el cliente se conecta para recibir la información.[24]

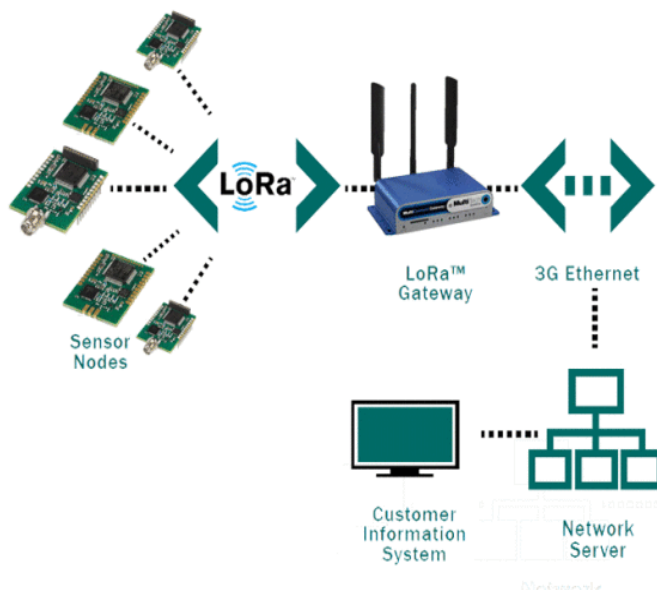


Figura 20 Red LoRa

3.3 XBEE

Son una familia de módulos de la empresa Digi International. Es una empresa de comunicación máquina a máquina (M2M), pero actualmente se está enfocando en comunicación de red, tanto por cable como inalámbrica. Los módulos XBee permiten trabajar en distintas bandas ISM. No tienen limitación en el envío de datos. Se puede usar diferentes topologías de red.[25]

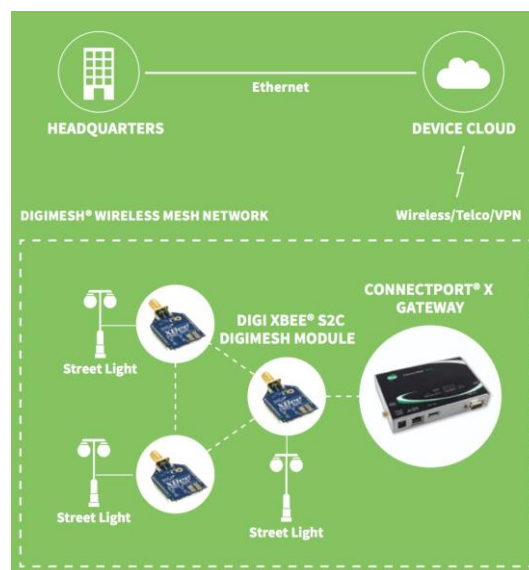


Figura 21 XBee Digimesh

3.4 LONG TERM EVOLUTION FOR MACHINES (LTE-M)

LTE-M es una tecnología LPWAN que usa bandas ISM licenciadas. Es compatible con los principales fabricantes de equipos móviles, chipset y módulos. Las redes LTE-M coexisten con las redes móviles 2G, 3G y 4G, y se benefician de todas las características de seguridad y privacidad de las redes móviles. En España, Orange ha elegido LTE-M para su despliegue progresivo en sus redes 4G. La velocidad de datos es hasta 1000 kbps y la vida de las baterías en sus dispositivos se estima que sea mayor de 10 años.



Figura 22 Logo LTE-M

3.5 NB-IOT

NarrowBand IoT es una tecnología LPWAN que usa bandas ISM licenciadas. Huawei, Vodafone y U-blox son los primeros en desarrollar la primera prueba comercial del estándar NB-IoT. En España, Vodafone ha hecho una gran apuesta este 2018 en NB-IoT. Puede funcionar junto a redes celulares existentes. Se estima que en cada red pueden caber 100.000 conexiones. La velocidad máxima de datos es 100 kbps. Y la estimación de la duración de la batería que ofrecen es mayor de 15 años, según el uso en cada caso. [26]

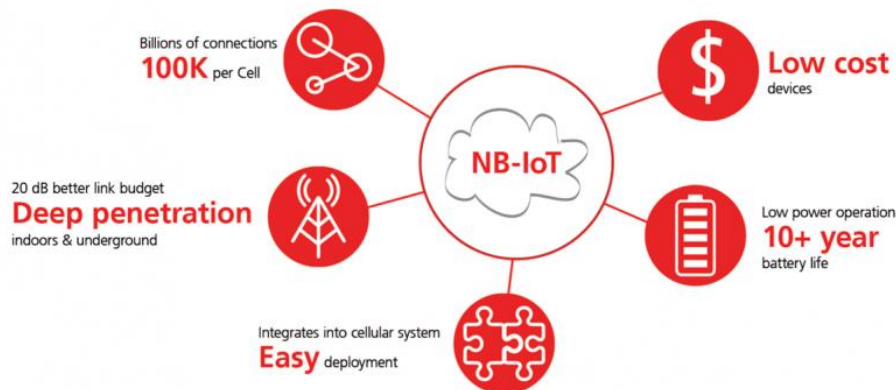


Figura 23 Características NB IoT

3.6 CARACTERÍSTICAS DE LAS TECNOLOGÍAS LTE

En LTE-M y NB-IoT se da prioridad a los costes, un consumo bajo energético y el impacto en la red.

La red NB-IoT puede aumentar el área de cobertura de la señal hasta siete veces en comparación con la tecnología GSM existente. Esto permite conectar dispositivos utilizados en interiores o en el subsuelo.

LTE-M brinda unas características técnicas ligeramente superiores al NB-IoT en términos de latencia y ancho de banda. Ofrece hasta 1 Mbps de ancho de banda. En cuanto a consumo energético de los chips, supera al de los módulos diseñados para NB-IoT.

En la siguiente tabla se muestra características generales de la tecnología LTE.

LTE	4G Básico (Cat 3/4)	LPWAN (Cat M)	LPWAN NB-IoT
Radio DL/UL	150 Mbps/50 Mbps	Hasta 1000 kbps	3 a 100 kbps
Cobertura de la señal	-4 dB GSM	+11 dB GSM	+20 dB GSM
Batería	1 año	>10 años	>15 años
Seguridad	ALTA	ALTA	ALTA

Tabla 4 Características generales LTE

3.7 CARACTERÍSTICAS DE LAS TECNOLOGÍAS DE BANDAS NO LICENCIADAS

En cuanto a las tecnologías de bandas de espectro no licenciadas, SigFox, LoRa y XBee, tienen diferencias importantes que dependiendo del uso que se necesite es preferible usar una u otra. En la siguiente tabla podemos ver la comparación de distintas características importantes.

	SigFox	LoRa	XBee
Tipología de la red	Estrella	Estrella	Estrella, Mesh, Árbol
Seguridad	Media	N/A	Alta
Frecuencia de trabajo	868Mhz 902 Mhz	915Mhz América 868 MHz Europa 433 Mhz Asia	902-928 Mhz 868 Mhz 2,4 Ghz
Ámbito de uso	Zona con cobertura celular	Zonas poca cobertura	Zonas poca cobertura
Transferencia de datos	Limitado a 12 bytes a cada envío Limitado a 140 envíos cada día	Baja (hasta 242 bytes)	Ilimitado (estrella o Árbol)
Velocidad de datos	Hasta 100 kbps	0,3 a 50 kbps	Hasta 250 kbps
Número de canales de transmisión y recepción		8 canales de Rx simultáneamente 1 canal de Tx	10 canales (902-928 Mhz) 1 canal (868 Mhz) 16 canales (2,4 Ghz)
Tamaño de la red (nodos)	Comunicación punto a punto con el Gateway propio de la red instalado con red celular	62500 (1 envío cada día) 1000 (1 envío cada 30 s)	$1,8 \cdot 10^{19}$ sin ninguna limitación de tamaño de paquetes
Consumo de corriente	Rx: 10,4 mA Tx: 32,7 mA Sleep: 1,3 uA	Rx: 23 mA Tx: 128 mA Sleep: 1,6 uA	Rx: 29 mA Tx: 215 mA Sleep: 2,5 uA
Alcance	30 km (abierto) 3 km(urbano)	15 km (abierto) 5 km(urbano)	15,5 km (abierto) 600 m (urbano)
Nube	Si	N/A (españa)	Si (solo para gateway)

Tabla 5 Comparación SigFox-LoRa-XBee

Los módulos con sensores que trabajan en modo de bajo consumo se fabrican en diferentes microcontroladores y chips de radiofrecuencia y debido a que cada chip tiene un consumo de corriente diferente dependiendo del uso y el rango de alcance deseado es difícil comparar la autonomía de un módulo SigFox o LoRa con un módulo de XBee a nivel de datasheet.

3.8 BIDIRECCIONALIDAD

Casi todos los módulos contemplados con las diferentes tecnologías (LTE-M, LTE NB IoT, LoRa, XBee) poseen entre sus características la bidireccionalidad en la comunicación. SigFox tiene una bidireccionalidad muy limitada; es posible configurar el módulo SigFox para solicitar un mensaje de ‘downlink’. Estos dispositivos están limitados a 4 mensajes ‘downlink’ al día.

3.9 COMPARATIVA ENTRE MÓDULOS LPWA LTE Y MÓDULOS LOW POWER DE RED LOCAL Y WAN

En la siguiente tabla podemos observar la comparación de los módulos de bandas del espectro no licenciado con los módulos licenciados.

	No licenciado	Licenciado
	SigFox, LoRa, XBee	LTE-M , LTE-NB IOT
Aprovecha la red existente	No	Sí
Vida de la batería	Alta	Alta
Cobertura en interiores	Alta	Alta
Basado en estándar (no propietario)	No	Sí
Bidireccionalidad	Sí (menor)	Sí (mayor)
Coste del dispositivo	Bajo	Bajo

Tabla 6 Comparativa entre módulos de bandas licenciadas y no licenciadas

A nivel nacional, tres operadoras apuestan por diferentes tecnologías. Por un lado Vodafone, apuesta por LTE NB-IoT. Por otro lado Orange con LTE-M y por último, Movistar con SigFox prestando sus celdas repetidoras para ubicar las antenas de los módulos concentradores y Gateway de SigFox.

Para este proyecto es interesante utilizar una red local de bajo consumo y en un principio parece aconsejable utilizar los módulos XBee por su ilimitado número de datos a transferir entre otras. Además permite implementar diferentes tipologías de red.

4 IEEE 802

IEEE 802 es un proyecto del Instituto de Ingeniería Eléctrica y Electrónica cuyas siglas provienen del inglés (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*).

Su objetivo se basa en desarrollar estándares de redes de área local (LAN) y redes de área metropolitana (MAN). El proyecto se creó con la finalidad de crear estándares para que diferentes

tipos de tecnologías pudieran integrarse y trabajar juntas. El IEEE 802 define el cableado físico y la transmisión de datos.



Figura 24 Logo IEEE

4.1 ZIGBEE

ZigBee es una tecnología inalámbrica desarrollada como un estándar global abierto para tratar las necesidades de las redes inalámbricas de bajo coste y bajo consumo de energía de *Internet of Things* (IoT). ZigBee está basado en el estándar IEEE 802.15.4 y opera en las bandas sin licencia, incluyendo 2.4 GHz, 915 MHz y 868 MHz. El objetivo de ZigBee son las aplicaciones donde se requiere una comunicación segura con una baja tasa de envío de datos y la maximización de la vida útil de sus baterías.[26]

Desde el punto de vista del Hardware, ZigBee ha sido optimizado para el bajo coste a gran escala, tiene pocas partes analógicas y utiliza circuitos digitales siempre que sea posible.

La técnica de modulación es Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS), que tiene un rango máximo de velocidad de unos 250 kbit/s. Esta técnica genera un patrón de bits redundante para cada uno de los bits que se envían. La señal resultante tiene un espectro parecido al del ruido, de manera que solamente puede invertir el proceso para obtener la información original el receptor.[28]

4.2 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE ZIGBEE

4.2.1 FRECUENCIAS DE TRABAJO Y RANGO DE VELOCIDADES

El estándar ZigBee utiliza la banda ISM (Industrial, Scientific and Medical). Son bandas reservadas internacionalmente para uso no comercial de radiofrecuencia electromagnética. Las tres bandas usadas por ZigBee son en concreto:

- Banda de 868 MHz (desde 868 MHz hasta 868,6 MHz)
- Banda de 915 MHz (desde 902 MHz hasta 928 MHz)
- Banda de 2,4 GHz (desde 2400 MHz hasta 2483,5 MHz)

La banda de 2,4 GHz es usada en el mundo entero mientras que las de 868 MHz y la de 915 MHz se usan en Europa y América del Norte respectivamente. El uso de estas tres bandas permite libertad a los diseñadores para decidir qué banda de frecuencia es mejor para sus aplicaciones. Sin embargo, a la hora de diseñar dispositivos, las empresas optan principalmente por la banda de 2,4 GHz por ser libre en todo el mundo.

La banda de 2,4 GHz permite un ancho de banda más grande y más canales. No obstante, la coexistencia con otros dispositivos y sistemas que funcionan con 2,4 GHz como WLAN (Wireless Local Area Network) y Bluetooth se debe de tener en cuenta. El tamaño de las antenas en los sistemas de 2,4 GHz respecto a las bandas de 868 MHz y 915 MHz es menor.

	Frequency (MHz)	Number of Channels	Modulation	Chip Rate (Kchip/s)	Bit Rate (Kb/s)	Symbol Rate (Ksymbol/s)	Spreading Method
	868-868.6	1	BPSK	300	20	20	Binary DSSS
	902-928	10	BPSK	600	40	40	Binary DSSS
Optional	868-868.6	1	ASK	400	250	12.5	20-bit PSSS
	902-928	10	ASK	1600	250	50	5-bit PSSS
Optional	868-868.6	1	O-QPSK	400	100	25	16-array orthogonal
	902-928	10	O-QPSK	1000	250	62.5	16-array orthogonal
	2400-2483.5	16	O-QPSK	2000	250	62.5	16-array orthogonal

Tabla 7 Bandas ZigBee

4.2.2 ARQUITECTURA ZIGBEE

El sistema de arquitectura de ZigBee consiste en tres tipos de dispositivos.

ZigBee Coordinador: Su función es formar una red. Él es responsable de establecer el canal de comunicaciones y del PAN ID (identificador de la red). Solo puede haber uno por red. Una vez establecidos estos parámetros, el coordinador forma parte de la red permitiendo comunicarse a él dispositivos Routers y End Device. Una vez formada la red, el coordinador trabaja como Routers, es decir, puede enviar y recibir información.

ZigBee Router: Es un nodo que mantiene la información sobre la red a la que se une para determinar la mejor ruta para enrutar un paquete de información. Esto quiere decir que no siempre se va a seguir la misma ruta para llegar al destinatario. Actúan como intermediarios de otros nodos, pudiendo transmitir paquetes de información de otros Routers y End Device.

ZigBee End Device: Estos nodos únicamente tienen la capacidad de interactuar con un Coordinador o un Router, es decir, no puede comunicarse con otro nodo End Device. El consumo de estos dispositivos es menor al no tener que realizar funciones de enrutamiento.

4.2.3 TOPOLOGÍAS DE RED

Zigbee admite tres diferentes topologías de red:

Estrella: En esta topología el coordinador es el centro de la red y es el que se conecta con los demás dispositivos, End Devices. Los mensajes únicamente van en una dirección, es decir, del End Device al Coordinador y viceversa. La ventaja de esta topología es que presenta una larga vida útil como consecuencia del bajo consumo que requiere.

Árbol: Esta topología se puede comparar con un árbol, de ahí su nombre. El Coordinador es el tronco donde se le unen las ramas que son los Routers y las hojas son los End Device. Es una combinación de subagrupaciones que podríamos decir que trabajan como la topología de estrella sustituyendo al Coordinador por un Router y estas subagrupaciones de nodo terminan conectando con el Coordinador de la red. La ventaja de esta topología es la existencia de múltiples rutas para alcanzar un destino, obteniendo una alta confiabilidad.

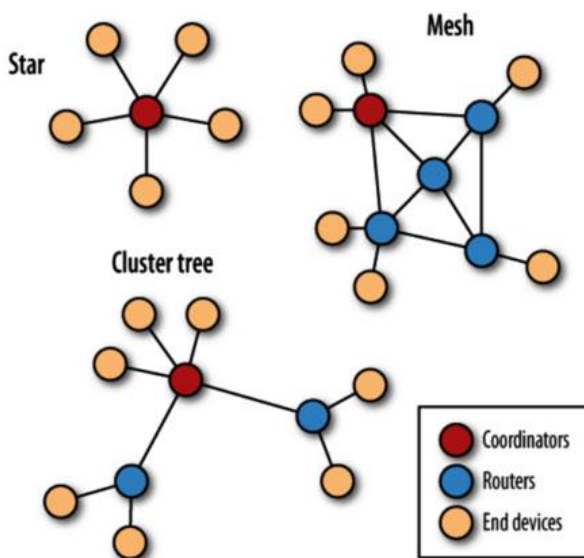


Figura 25 Topología de red ZigBee

Malla: La topología de malla es una topología no jerárquica en el sentido de que cualquier dispositivo puede interactuar con cualquier otro. Esto permite que, si en un momento dado un nodo o camino fallan en la comunicación, ésta pueda optar por otro camino retomando la comunicación. La gestión del enrutado es tarea del coordinador. Esta tipología agrupa los beneficios de las dos anteriores.

De estas tres tipologías, la más ventajosa y que caracteriza al protocolo ZigBee es la de Malla. El routing dinámico permite a esta tipología ganar fiabilidad en las comunicaciones.



Figura 26 Ejemplo del routing dinámico

4.2.4 CAPAS ZIGBEE

Las capas del protocolo Zigbee están basadas en el modelo OSI (Open Systems Interconnection) pero con una diferencia. El modelo OSI especifica siete capas y ZigBee utiliza solamente cuatro.[26][28]

Capa Física (Physical Layer, PHY): Es la capa más cercana al Hardware. Realiza operaciones de modulación y demodulación para transmitir y recibir señales. Además, selecciona el canal de frecuencia y se asegura que éste no es usado por otros dispositivos de la red.

Capa de enlace de datos (Medium Access Control Layer, MAC): Proporciona servicios que permiten la fiabilidad y la transmisión de datos entre dos nodos que comparten el mismo enlace.

Capa de red (Network Layer, NWK): Otorga las funcionalidades para el armado y manejo de las redes y una interfaz simple para las aplicaciones de usuarios. Establece la red, la configuración de los dispositivos, ruteado y seguridad.

Capa de aplicación: Es el nivel más alto. Es la interfaz entre el nodo y el usuario y está compuesta por:

Capa de soporte de aplicación (Application Support SubLayer, APS): ofrece una interfaz entre la red y la aplicación, define el estándar de los mensajes que permite la comunicación entre dispositivos de diferentes fabricantes.

Capa aplicación Framework: es donde se almacenan las aplicaciones en los dispositivos ZigBee.

Capa objeto de dispositivo ZigBee (ZigBee Device Object, ZDO): presenta funcionalidades de descubrimiento de dispositivos y gestión avanzada de red.

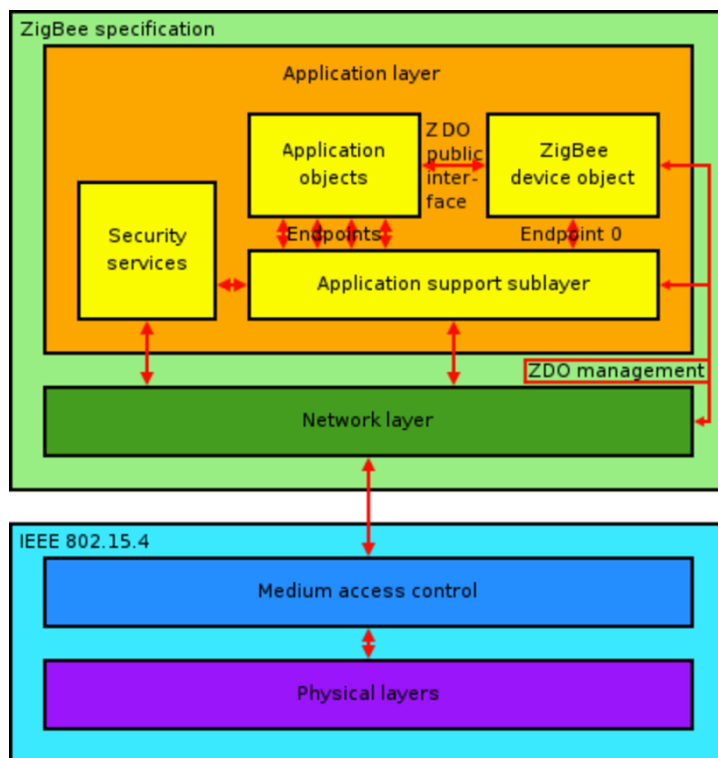


Figura 27 Capas ZigBee

4.2.5 SEGURIDAD DE LA RED

La seguridad en las comunicaciones inalámbricas es un tema primordial para los consumidores. Podríamos dividirlo en dos aspectos; por un lado, la confidencialidad de datos y por otro lado, la autenticación de datos.

El estándar IEEE 802.15.4 soporta el uso del Advanced Encryption System (AES), para poder codificar el mensaje. El AES consiste en un algoritmo de cifrado que modifica el mensaje con una cadena de bits, llamada clave de seguridad, y sólo el destinatario es capaz de recuperar el mensaje original.

Sobre la autenticación de datos, un código de autenticación de mensajes (MIC) es una pequeña parte de la información que se utiliza para autenticar un mensaje.

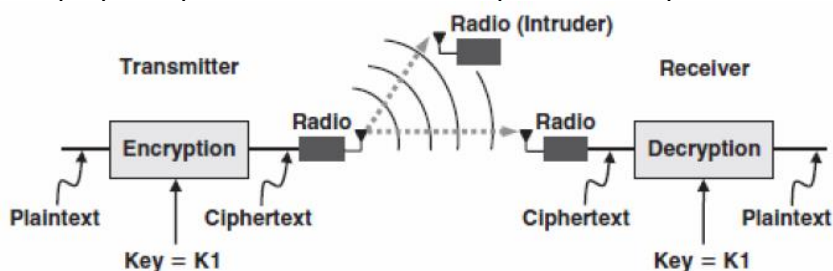


Figura 28 Ejemplo radio intrusión

4.2.6 PROFUNDIDAD DE RED

La profundidad de un dispositivo en una red es el número mínimo de saltos necesarios para alcanzar el Coordinador. Es decir, la profundidad máxima de la red es el número de saltos del coordinador al dispositivo más alejado de la red.

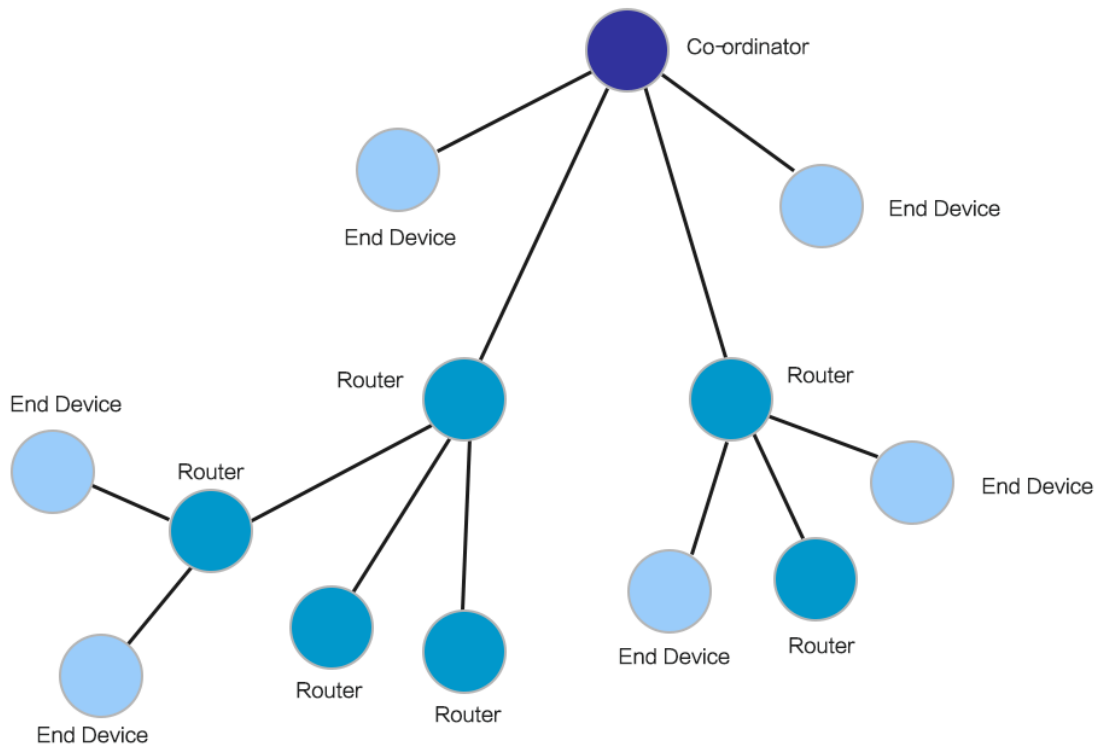


Figura 29 Profundidad de red

En la Figura 28 anterior vemos el número de capas de profundidad de una red ZigBee. Podemos ver como tenemos el Coordinador del que dependen los diferentes Routers y algún End Device. De los Routers cuelgan otros Routers y End Device. Lo que caracteriza una red se determina por tres parámetros:

- Profundidad de red.
- Profundidad que ocupa el dispositivo en la propia red.
- El número máximo de nodos que puede haber en la red.

En el caso de ZigBee, puede constar de un máximo de 255 nodos por red.

4.3 COEXISTENCIA DE REDES INALÁMBRICAS

Cada vez más, la tecnología inalámbrica está más presente en nuestra vida diaria. Como por ejemplo el WiFi, Bluetooth, y ahora ZigBee.

Estas tres tecnologías operan en la banda de 2.4 GHz. Para la evolución de estas tecnologías en el mercado de los dispositivos inalámbricos, es necesaria la coexistencia de las tecnologías para que permitan al usuario usar sus dispositivos correctamente.

ZigBee divide la banda de 2.4 GHz en 16 canales de 2 MHz de ancho y 5 MHz de separación.

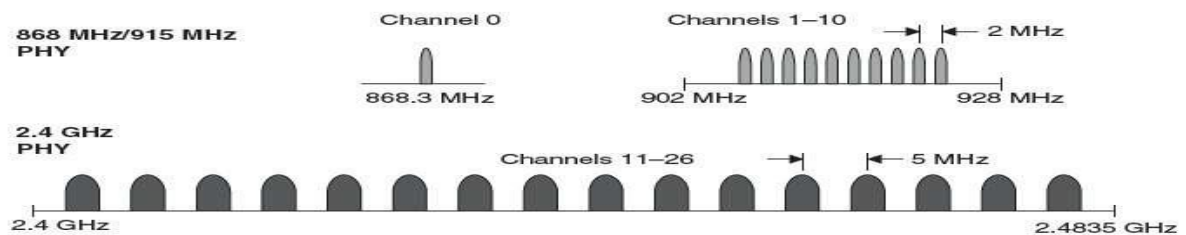


Figura 30 Banda 2.4GHz

Por otro lado, Bluetooth utiliza 79 canales de 1 MHz. Tanto ZigBee y Bluetooth no hay solapamiento entre sus canales ni en la señal que modulan. Y por último, WiFi, divide la banda de 2.4 GHz en 14 canales de 22 MHz de ancho, por lo tanto entre sus canales si hay solapamiento. [29]

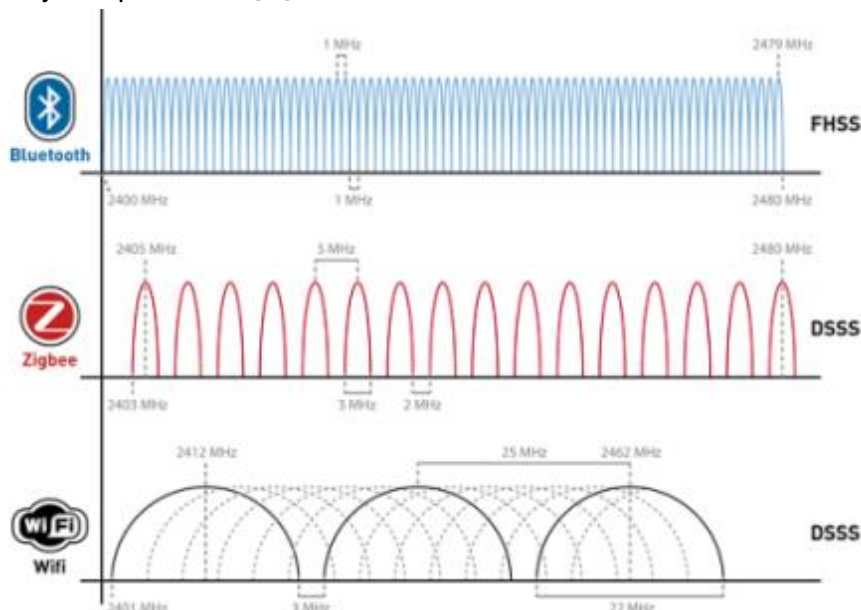


Figura 31 Coexistencia Bluetooth-ZigBee-WiFi

Una forma para evitar interferencias podría ser seleccionar canales que no se solapan. Por ejemplo los canales 15, 16, 21 y 22 de ZigBee no se superponen con los canales 1, 7 y 13 de WiFi. Usando estos canales es dónde tendríamos la menor interferencia posible con los canales de WiFi.

5 REQUERIMIENTOS DEL HARDWARE

La idea del proyecto es la prevención y detección de incendios mediante sensores de temperatura y humedad. Los datos de estos sensores serían procesados previamente por un microcontrolador y enviados a través de un módulo de radio XBee. En este capítulo vamos a contemplar las posibles soluciones y elecciones para desarrollar este proyecto.

5.1 MÓDULOS DE RADIO XBEE

XBee es el nombre comercial de módulos de comunicación por radio utilizando el protocolo de Digi International basado en ZigBee para crear redes punto a punto o punto a multipunto. Los módulos XBee han sido diseñados para aplicaciones que requieren un alto envío de datos, baja latencia y sincronización en la comunicación predecible. [30]

5.1.1 TIPOS DE MÓDULOS

XBee cuenta con diferentes series y familias de módulos para adaptarse a las necesidades del consumidor. Cada serie o familia únicamente es compatible con la suya, tienen diferente firmware y su configuración cambia.



Figura 32 Módulos de radio XBee

5.1.1.1 SERIE 1

También llamados XBee 802.15.4. En un principio es la serie más fácil para trabajar si se quiere una comunicación punto a punto. Solamente introduciendo las direcciones de destino ya logramos una comunicación. Se puede cambiar el firmware que tiene instalado por defecto para trabajar en modo DigiMesh 2.4 GHz. La velocidad de datos es aproximadamente de 250 kbps.

5.1.1.2 SERIE 2

Estos módulos actualmente retirados del mercado son parecidos a la Serie 1 con la diferencia de que tienen que ser configurados previamente antes de ponerlos a funcionar. Los módulos de la Serie 2 han sido reemplazados con módulos ZB.

5.1.1.3 SERIE ZB

Son básicamente los módulos de la Serie 2 con un nuevo firmware. Nuevamente, estos módulos no son compatibles con la Serie 1.

5.1.1.4 SERIE 2B

Son nuevos módulos con mejoras en el hardware respecto a la Serie 2. Funcionan con el mismo firmware de la Serie ZB.

5.1.1.5 FAMILIA 900 MHZ

Estos módulos pueden funcionar con dos firmware diferentes. El firmware de DigiMesh y el firmware Point to Multipoint. Estos módulos pueden ser utilizados rápidamente con una simple configuración. Eso sí, si se quiere exprimir al máximo estos módulos, se pueden configurar. La velocidad de datos es aproximadamente de 156 kbps.

5.1.1.6 FAMILIA XSC

Son módulos de 900 MHz con una tasa menor de velocidad en el envío de datos pero con un mayor alcance. La velocidad de estos módulos es de 10 kbps pero pueden llegar a tener un alcance de 24 km con una antena de alta ganancia y alrededor de 10 km con una antena regular.

5.1.2 MÓDULOS REGULAR Y MÓDULOS PRO

Los módulos XBee pueden ser regulares o la versión Pro. La diferencia en el hardware es el tamaño un poco más grande. En cuanto alcance, la versión pro es mayor pero también el consumo es más elevado. Ambos modelos, siempre y cuando sean la misma serie y usen el mismo firmware pueden ser utilizados en la misma red.

5.1.3 MÓDULO 2.4 GHZ Y MÓDULOS 900 MHZ

La mayoría de los módulos trabajan en la banda de ISM de 2.4 GHz, pero hay otros que trabajan en la banda de 900 MHz. Los módulos de 900 MHz tienen un mayor alcance y la señal una mayor penetración.

5.1.4 TIPOS DE ANTENAS

Los módulos XBee aceptan diferentes antenas para adaptarse mejor a los requerimientos del usuario.

Whip: Es un pequeño cable que sobresale del módulo.

Chip: Es un pequeño chip que actúa como antena.

RPSMA: Conector más grande para conectar directamente la antena al módulo.

UFL: Es un conector para conectar un alargador para la antena, ideal si se tiene el módulo en una caja y se necesita la antena fuera.

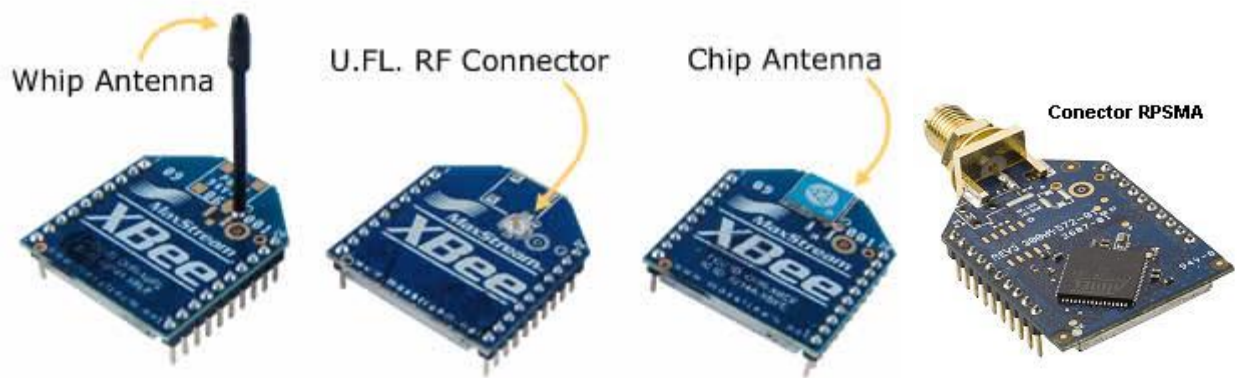


Figura 33 Antenas para módulos XBee

5.1.5 MODO DE OPERACIÓN

XBee tiene 3 modos de operación: Comandos, Transparente y API.

5.1.5.1 MODO COMANDO

Si trabajamos en modo comandos, debemos ingresar comandos AT al módulo XBee para su configuración. Permite ajustar los parámetros de la dirección de destino, modo de operación, habilitar y deshabilitar entradas y salidas entre otros aspectos. Para poder enviar los comandos AT podemos usar el programa XCTU.

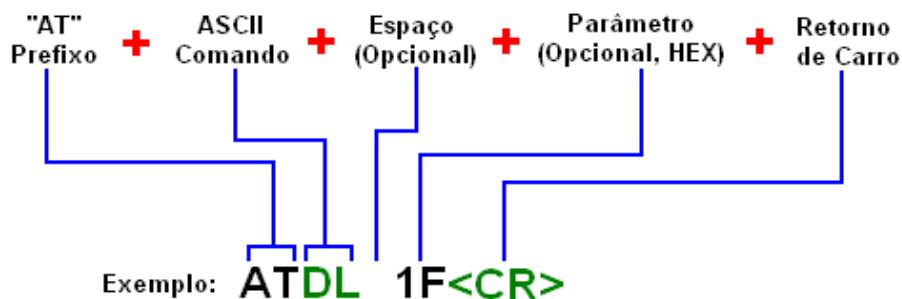


Figura 34 Ejemplo comando AT

5.1.5.2 MODO TRANSPARENTE

El modo transparente se utiliza para la comunicación punto a punto, donde no es necesario conocer la procedencia del mensaje. Se puede utilizar para reemplazar alguna conexión serie por cable, ya que es sencilla su configuración. Este es el modo que viene por defecto en los módulos XBee.

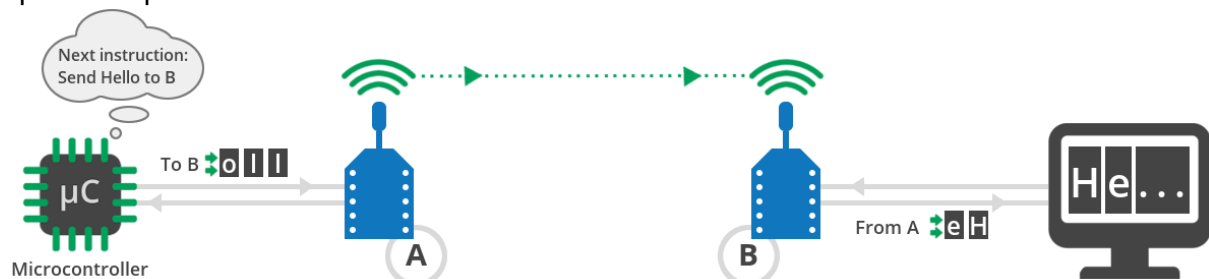


Figura 35 Ejemplo comunicación modo transparente

Los datos que le llegan al XBee por el pin 3 (DIN) son enviados directamente al módulo deseado por el pin 2 (DOUT).

5.1.5.3 MODO API

Este modo permite el uso de tramas con cabeceras. Toda la información que entra y sale de los módulos es empaquetada en tramas, que definen operaciones y eventos. El modo API permite transmitir información a múltiples destinatarios, recibir estado de éxito o falla de cada paquete RF transmitido e identificar la dirección de origen de cada paquete.

Start delimiter	Length		Frame type	Frame data							Checksum
				Data							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	...	n	n+1
0x7E	MSB	LSB	API frame type	Frame-type-specific data							Single byte

Figura 36 Distribución de la trama en modo API

El primer byte 0x7E indica el comienzo de la trama. Los dos siguientes bytes indican la longitud de la trama de Datos (es decir, no tiene en cuenta el byte de inicio, la longitud ni la verificación), el cuarto byte indica el tipo de datos que llegan (puede ser que envíe datos de los pines de entrada del módulo del XBee o que lleguen datos vía serie). En la trama de datos, viene la dirección de origen del mensaje, si hay habilitadas entradas digital/analogicas, sus valores respectivamente.



Figura 37 Ejemplo comunicación en modo API

Con el modo API nos permite tener más control de la red, ya que si la comunicación falla obtendremos un aviso. Además, podemos enviar y recibir desde el Coordinador o cualquier otro nodo.

5.1.6 TRAMA DE DATOS

En el proyecto se va a trabajar con dos tipos de tramas de datos:

- 0x90, corresponde a datos enviados vía serie.
- 0x92, corresponde a datos obtenidos de las E/S del módulo XBee.

A continuación vamos a explicar los dos tipos de tramas que se trabajarán en el proyecto con ejemplos reales obtenidos.

7E	00 14	90	00 13 A2 00 41 77 F9 56	FF FE	C1	RF Data	6A
----	-------	----	-------------------------	-------	----	---------	----

7E	00 35	92	00 13 A2 00 41 77 F9 55	FF FE	C1	01	00 00	03	AD 0	AD 1	75
----	-------	----	-------------------------	-------	----	----	-------	----	------	------	----

El primer byte, 7E indica inicio de trama. Los dos siguientes bytes, es la longitud del mensaje sin contar el inicio de trama ni el checksum. El cuarto byte, 90 o 92, indica el origen de los datos, es decir, si es un que se ha recibido a través de los puertos Din/Dout o si son datos obtenidos de las entradas del módulo XBee. Los siguientes ocho bytes, es la dirección de 64 bits del módulo de origen. En el caso de la primera trama, los datos recibidos están a partir del decimosexto byte. En la segunda trama, tenemos los datos de las entradas del módulo utilizadas (ordenadas según el número del pin). En cada caso, utiliza dos bytes para la información de entrada.

5.1.7 XBEE EXPLORER USB

Para configurar los módulos de XBee necesitaremos el XBee Explorer USB. Es una shield para conectar el módulo a un puerto USB de un ordenador. Con el podemos instalar los firmware, configurarlos y también permite enviar y recibir información a través del puerto.



Figura 38 XBee Explorer USB

5.1.8 XBEE BREAKOUT

Para utilizar los módulos XBee en una protoboard, necesitaremos el XBee Shield que adapta la separación de 2 mm a los 2,54mm de la protoboard.

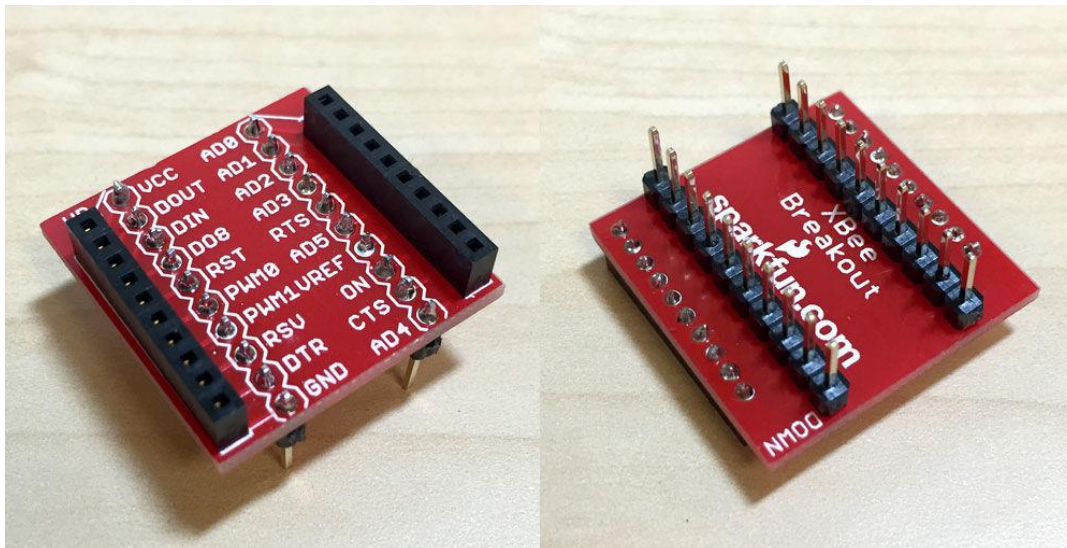


Figura 39 XBee Breakout

5.1.9 XCTU

Para configurar los módulos XBee es necesario descargar e instalar XBee Configuración and Test Utility (XCTU) que es un software que permite interactuar con los módulos mediante una interfaz gráfica. Permite configurar, actualizar el firmware y testear los módulos XBee. También podemos utilizar el Hyperterminal de Windows o algún microcontrolador que disponga de UART y configurarlos vía comandos AT.

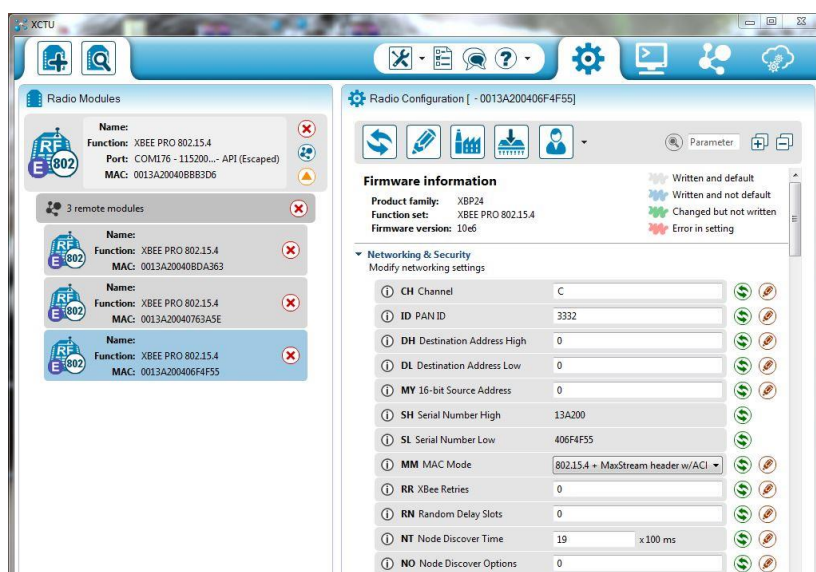


Figura 40 Pantalla configuración XCTU

Desde el XCTU podemos configurar cualquier parámetro de una manera sencilla y rápida. Además podemos visualizar en tiempo real los datos que se envían y también ver la red de comunicación de los nodos conectados en una red.

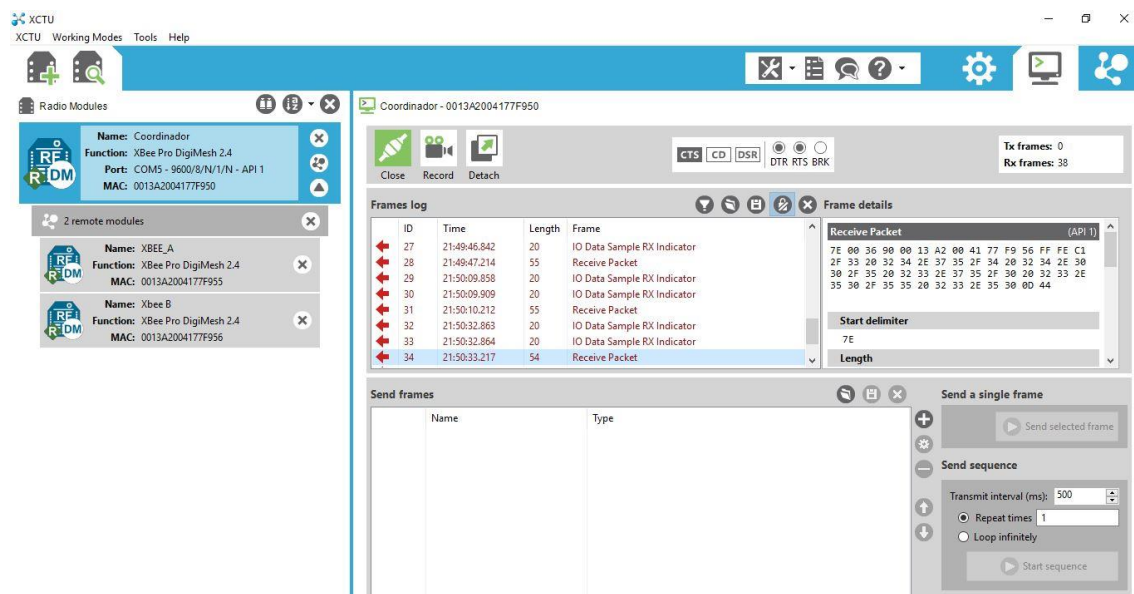


Figura 41 Visualización datos enviados recibidos mediante XCTU

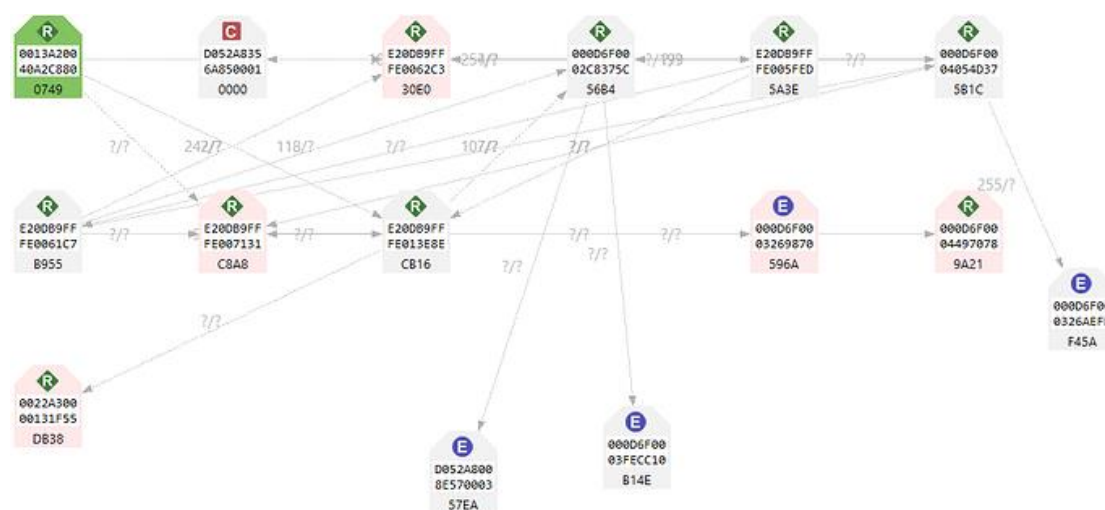


Figura 42 Visualización red XBee mediante XCTU

5.2 SENSORES PARA MONITORIZAR EL ENTORNO

Después de analizar las causas de los incendios forestales, vemos que la manera más efectiva y de bajo coste para la prevención y la detección de incendios es utilizar una combinación de sensores. Sensor de temperatura, de humedad y diodos infrarrojos. En el mercado podemos encontrar gran variedad de sensores con características diferentes. Rangos de medición mayor, mayor precisión, voltaje de alimentación, consumo de corriente, tamaño diferentes y precios. Es por ello que hay que analizar cada uno y ver el que mejor se adapta a nuestras necesidades.

5.2.1 SENSORES DE TEMPERATURA

LM35: Su salida es analógica. El voltaje de alimentación es de 4 V a 30 V. El rango de temperatura oscila entre -55°C a 150°C . Tiene una precisión de $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$. La conversión es lineal de $10\text{ mV}/^{\circ}\text{C}$. No tiene offset, con lo cual puede dar valores negativos de voltaje, algo a tener en cuenta.

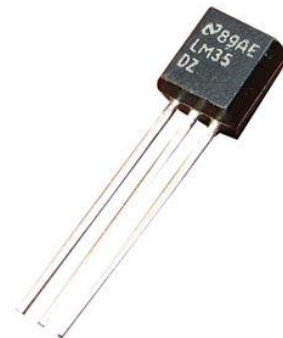


Figura 43 Sensor LM35



Figura 44 Sensor TMP36

TMP36: Salida analógica. Voltaje de alimentación de 2,7 V a 5,5V. El rango de temperatura oscila entre -40°C a 150°C . La precisión es de $\pm 2^{\circ}\text{C}$. La conversión es lineal de $10\text{ mV}/^{\circ}\text{C}$. Tiene un offset de 0,5V, con lo cual podemos medir valores negativos de temperatura con voltajes positivos.

TC74: Salida digital. Convierte la temperatura dentro del propio sensor y transmite con una salida digital de 2 bytes. La comunicación con el sensor requiere el protocolo I2C. Cada sensor viene con su dirección. Voltaje de alimentación de 2,7 V a 5,5 V. Rango de temperatura oscila entre -40°C a 125°C . La precisión es de $\pm 3^{\circ}\text{C}$.

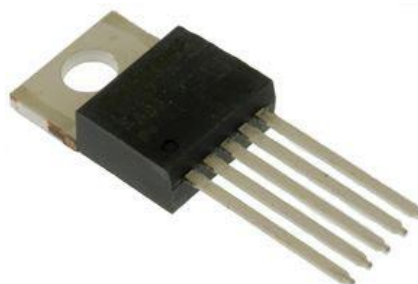


Figura 45 Sensor TC74

5.2.2 SENSORES DE HUMEDAD RELATIVA

HPP801A031: Sensor de humedad para circuitos de salida de frecuencia o tensión. Únicamente dispone de dos pines. El voltaje de alimentación oscila entre 5 V a 10 V. el rango de temperatura de funcionamiento es de -60 °C a 140 °C. La precisión es de $\pm 2\%$.



Figura 46 Sensor HPP801A031

HIH4000-001: Salida analógica. La tensión de alimentación es de 5 V. La precisión es de $\pm 2\%$. El rango de temperatura de funcionamiento es de -40 °C a 85 °C.

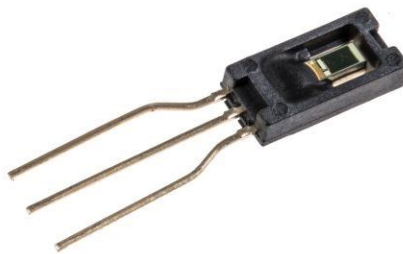


Figura 47 Sensor HIH4000

HIH5031-001: Sensor con circuito integrado, resistente a la condensación y con filtro hidrófobo. Salida analógica. Diseñados para uso con baterías, la tensión de alimentación oscila entre los 2,7 V a 5 V. El rango de temperatura de funcionamiento es de -40 °C a 85 °C. La precisión es de $\pm 3\%$. Su consumo típico de corriente es de 200 μ A. Viene con un encapsulado SMD.



Figura 48 Sensor HIH5031

5.2.3 SENSORES DE TEMPERATURA Y HUMEDAD

DHT22: Sensor de temperatura y humedad. Voltaje de alimentación de 3,3 V a 6 V. El rango de temperatura de funcionamiento es de -40°C a 80°C . La precisión de temperatura es de $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ y el de humedad $\pm 4\%$. El envío de la información se hace en 40bits, 2 bytes de humedad, 2 bytes de temperatura y 1 byte para errores.

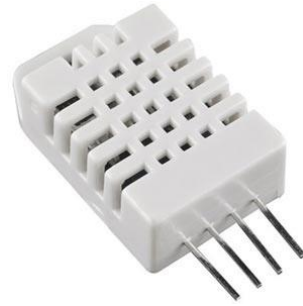


Figura 49 Sensor DHT22

SHT15: Sensor de temperatura y humedad digital que viene en su propia placa. El rango de voltaje de alimentación es de 3,3 V a 5,5 V. El rango de temperatura de trabajo es de -40°C a $123,8^{\circ}\text{C}$. La precisión de temperatura es de $\pm 0,3^{\circ}\text{C}$ y la de humedad de $\pm 2\%$. La comunicación se hace a través del protocolo I2C.



Figura 50 Sensor SHT15

5.2.4 SENSORES Y FOTODIODOS INFRARROJOS

En los sensores y fotodiodos infrarrojos podemos diferenciar de varios tipos. Están los sensores que detectan la banda del infrarrojo térmico entre $8\text{ }\mu\text{m}$ y $15\text{ }\mu\text{m}$. Estos pueden tener falsas alarmas debido a los infrarrojos emitidos por el sol ($9,7\text{ }\mu\text{m}$) y después están los que detectan la banda del infrarrojo medio entre $3\text{ }\mu\text{m}$ y $8\text{ }\mu\text{m}$.

MLX90614: Disponible encapsulado o en su propia placa de integrado. La tensión de alimentación es de 3,6 V a 5,5 V. El rango de temperatura de trabajo oscila entre $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $85\text{ }^{\circ}\text{C}$. Precisión de $\pm 0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$. Tiene un consumo típico de 30 mA. Comunicación bus I2C.

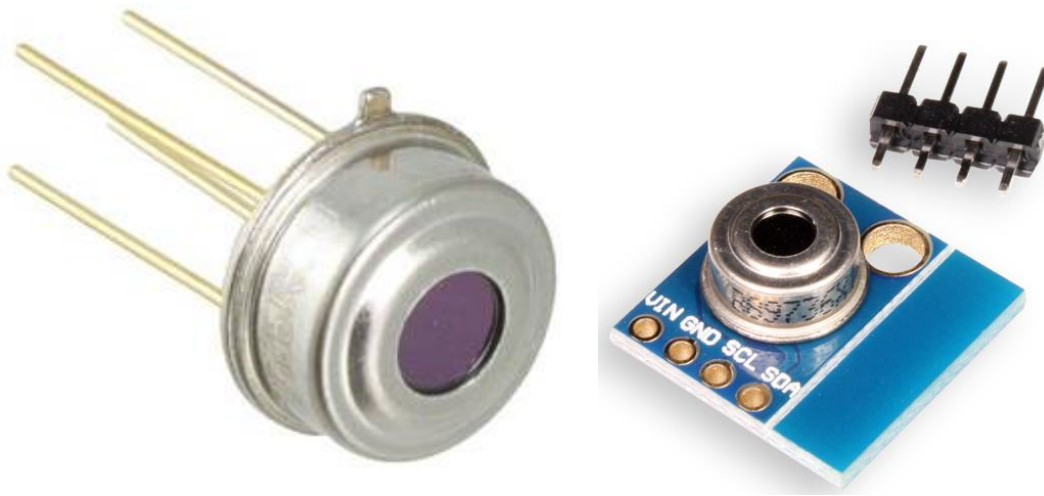


Figura 51 Sensor MLX90614

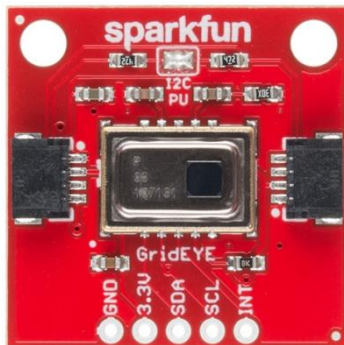


Figura 52 Sensor AMG8833

AMG8833: Sensor con una matriz de 8×8 píxeles capaz de detectar la temperatura independientes. Con un rango de hasta 7m de detección. Rango de tensión de alimentación de 1,5 V a 3,6 V. Rango de medición de temperatura, $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $>100\text{ }^{\circ}\text{C}$. Consumo de corriente de 4,5 mA. Precisión de $\pm 2,5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Comunicación bus I2C. El espectro IR detectado es desde los $5\text{ }\mu\text{m}$ a $10\text{ }\mu\text{m}$.

Fotodiodo Lms49PD: Fotodiodo con sensibilidad de 3,55 μm a 5 μm . Rango de temperatura de -60 $^{\circ}\text{C}$ a 90 $^{\circ}\text{C}$. Respuesta espectral típica:

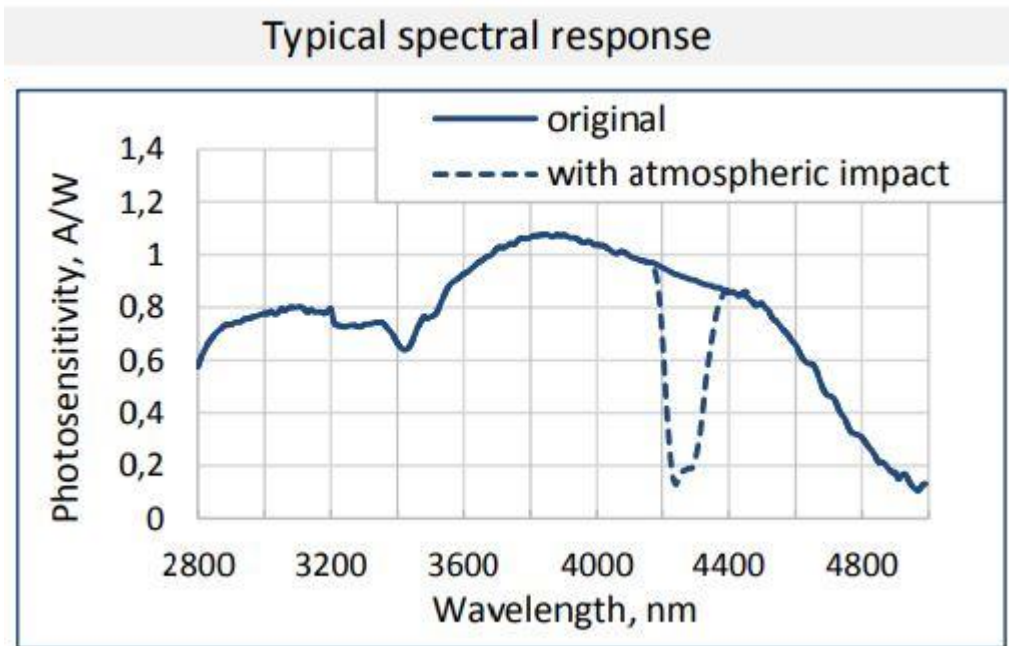


Figura 53 Sensibilidad espectral Fotodiodo LMS49

Al ser un fotodiodo, su consumo es menor que los sensores anteriormente comentados. Mayor inconveniente es encontrar proveedor para su compra. (No ha sido posible encontrar a la venta el fotodiodo).[31]



Figura 54 Fotodiodo LMS49

5.3 ARDUINO

Arduino es una plataforma de pensada para el desarrollo de prototipos con hardware y software flexible y fácil de utilizar. Al ser open-source, hay disponible gran variedad de ejemplos y librerías. Además, existe un foro oficial donde poder comentar y compartir información, además de foros no oficiales de arduino donde poder también consultar y resolver dudas.

El hardware de Arduino es principalmente un microcontrolador. Además, dispone de una gran variedad de placas y shields para complementar el microcontrolador dependiendo del uso que se requiera.

Arduino no es la única plataforma ni microcontrolador disponible que intenten simplificar el proceso de programación de un microcontrolador pero Arduino ofrece unas ventajas más atractivas.[32]

5.3.1 VENTAJAS ARDUINO

Podemos apreciar 5 grandes ventajas para decantarnos para utilizar Arduino:

Coste: Las placas Arduino tienen una mejor oferta en comparación con otras plataformas de microcontroladores. Para reducir costes se puede obtener placas sin ensamblar.

Multiplataforma: El software de Arduino se puede ejecutar en los sistemas operativos como Windows, Macintosh OSX y GNU/Linux. Gran ventaja si tenemos en cuenta que la mayoría de los sistemas de microcontroladores están limitados al sistema operativo Windows.

Entorno de programación: Se puede considerar el entorno de programación de Arduino sencillo de utilizar, incluso para principiantes, pero suficientemente flexible para usuarios más avanzados puedan desarrollar proyectos de mayor complejidad.

Código abierto y extensible: El software de Arduino está publicado como herramienta de código abierto que puede ser expandido por programadores con más conocimiento. El lenguaje de Arduino admite librerías C++.

Hardware libre y extensible: Arduino está basado en los microcontroladores ATMEGA8, ATMEGA32U4, ATMEGA168 y ATMEGA328 de Atmel. Los planos están publicados bajo licencia de Creative Commons, por lo tanto, se puede construir desde cero para reducir el coste del hardware o se puede modificar para mejorar y extender las características de los módulos.

5.3.2 PLACAS ARDUINO DE TAMAÑO REDUCIDO

Existen tres placas muy usadas que tienen un tamaño reducido. Arduino Mini, Micro y Nano. Es más, del Arduino Mini existe la versión Pro.

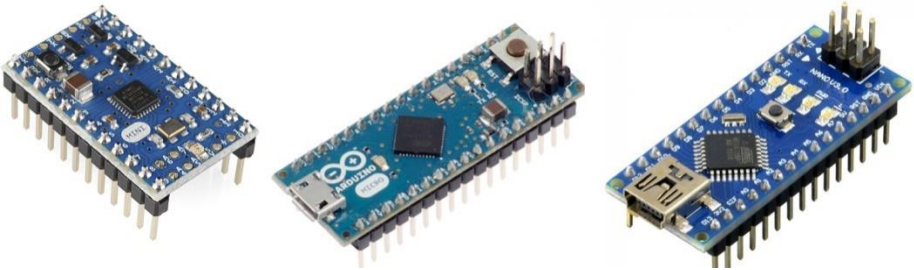


Figura 55 Arduino mini,micro,nano

5.3.2.1 CARACTERÍSTICAS ARDUINO MINI, MICRO Y NANO

Características	Arduino Mini	Arduino Micro	Arduino Nano
Microcontrolador utilizado	ATMEGA328P	ATMEGA32U4	ATMEGA168 o ATMEGA328P
Voltaje de operación	5 V	5 V	5 V
Voltaje de alimentación	5 V a 9 V	5 V a 12V	5 V a 9 V
Frecuencia de trabajo	16 MHz	16 MHz	16 MHz
E/S analógicas	8	12	8
E/S digitales	14	20	14
PWM	6	7	6
Puerto de programación y alimentación principal	FTDI	Micro USB	Mini USB
Dimensiones	30mm x 18mm	48mm x 17,7mm	45mm x 18mm
Coste (Alto, Medio, Bajo entre las tres placas)	Bajo	Alto	Medio

Tabla 8 Características Arduino mini, micro y nano

5.3.2.2 COMPARACIÓN ARDUINO MINI Y MINI PRO

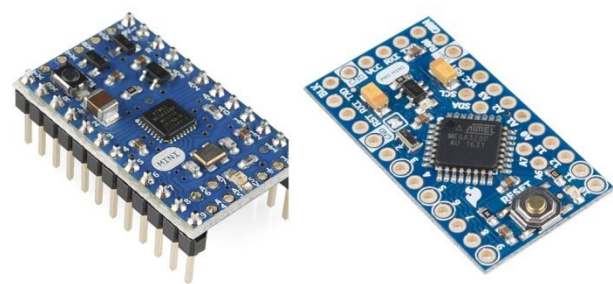


Figura 56 Arduino Mini - Arduino Mini Pro

Características	Arduino Mini	Arduino Mini Pro 5V	Arduino Mini Pro 3.3V
Microcontrolador	ATMEGA328P	ATMEGA168 o ATMEGA328P	ATMEGA168 o ATMEGA328P
Voltaje de operación	5 V	5 V	3,3 V
Voltaje de alimentación	5 V a 9 V	5 V a 12 V	3,35 V a 12 V
Frecuencia de trabajo	16 MHz	16 MHz	8 MHz
E/S analógicas	8	6	6
E/S digitales	14	14	14
PWM	6	6	6
Puerto de programación y alimentación principal	FTDI	FTDI	FTDI
Dimensiones	30 mm x 18mm	30 mm x 18mm	30 mm x 18mm

Tabla 9 Comparativa Arduino Mini - Arduino Mini Pro

Como podemos observar, la placa de Arduino Mini Pro 3.3V tiene unas mejores características, al tener una frecuencia de trabajo menor, eso se traduce en un menor consumo y por otro lado, las dimensiones se reducen a más de la mitad y una tensión de alimentación menor.

5.4 BATERÍA

La elección de la batería puede determinar el éxito o fracaso de un proyecto de una red de sensores WSN (Wireless Sensor Networks). Es igual de importante la elección de los sensores, el microcontrolador, la tipología de red, el modo de transmisión de datos como la batería. Un incorrecto diseño o elección puede suponer un mayor consumo y por lo tanto la vida útil de la batería se vería afectada o la necesidad de una batería de mayor capacidad y por lo tanto de mayor coste y tamaño.

La duración de la batería va a ser un parámetro fundamental en la vida útil de los módulos inalámbricos del proyecto. La pregunta que debemos hacer es ¿Cuál es el consumo que del módulo a instalar?, otra pregunta importante también, ¿Cuál es la tensión de alimentación? y por último, ¿Cuánto tiempo va a durar la batería?

La capacidad total de una batería se mide en amperios-hora (Ah) o miliamperios-hora (mAh). Asimismo, es necesario conocer cuando una batería está agotada, es decir, cuando la tensión disminuye de cierto voltaje.

Para una correcta elección de la batería hay dos criterios importantes:

Temperatura: A temperaturas frías las baterías conservan bien la energía y a temperaturas calientes administran mejor la energía. Por lo tanto, lo ideal sería conservar la batería fría y calentarlas en el momento cuando vaya a suministrar energía. En el proyecto no será necesario pero puede ser interesante en otras aplicaciones.

No linealidad: La capacidad de una batería está relacionada con la corriente que debe suministrar y esta no es lineal. Un alto consumo hará disminuir la capacidad de la batería.

5.4.1 TIPOS DE BATERÍA

Existen diferentes tipos de baterías a utilizar. Cada una de ellas con sus ventajas y desventajas que hay que analizar para ver cuál se adapta a las exigencias del proyecto a realizar.[33]

5.4.1.1 BATERÍA ALCALINA

Las baterías alcalinas son las más comunes en hogares y son idóneas para una gran variedad de aplicaciones electrónicas. No son recargables.

El coste de las baterías alcalinas es relativamente bajo, son fáciles de obtener e ideales para aplicaciones que requiere un bajo consumo de corriente. Las dos grandes desventajas que tienen es el funcionamiento en condiciones de temperaturas frías y el funcionamiento cuando se requiere un alto consumo de corriente.

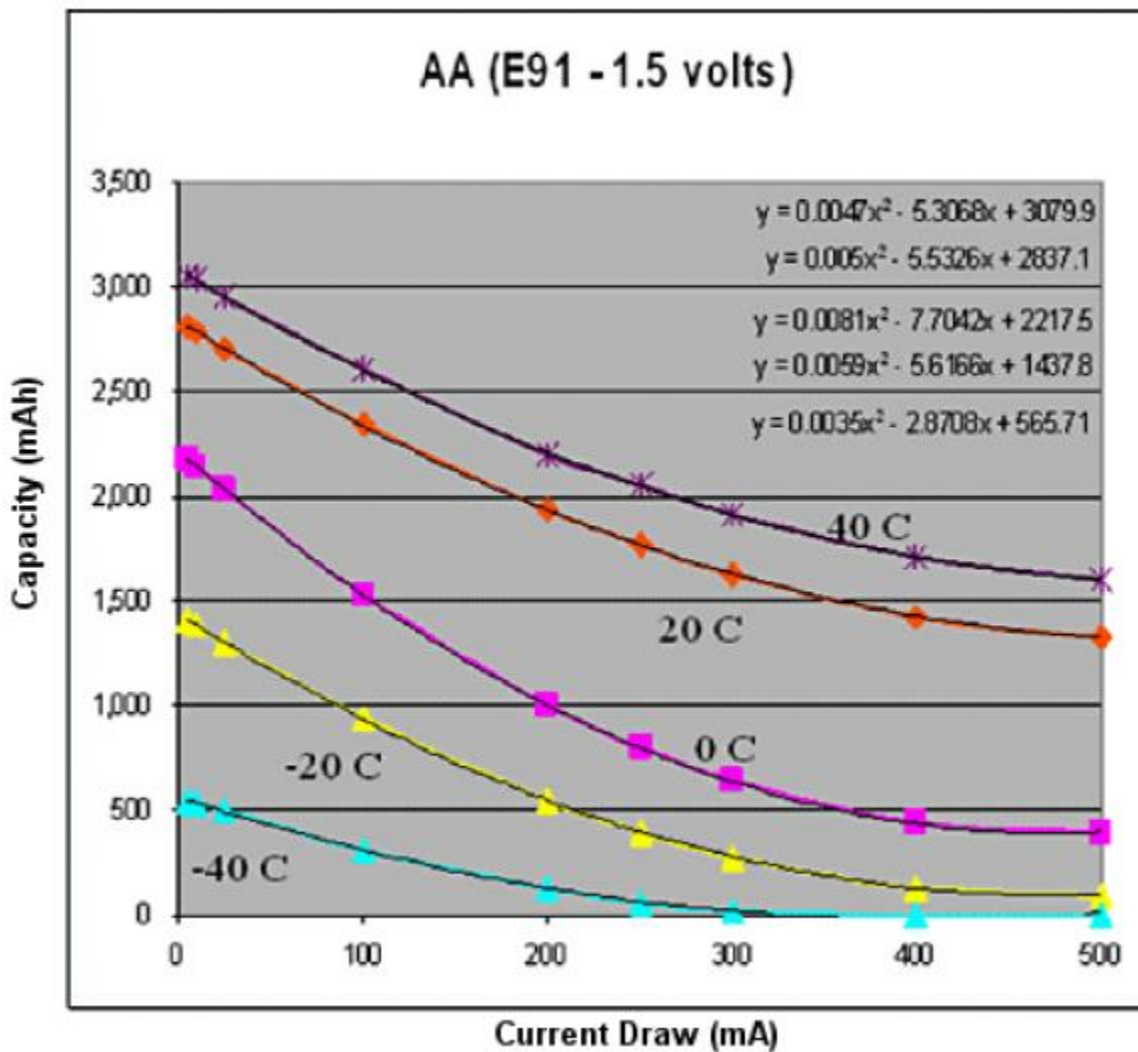


Figura 57 Gráfica capacidad-corriente pila alcalina

5.4.1.2 BATERÍA DE LITIO

Existen diversas variedades de baterías de litio y cada una con características diferentes, pero tienen algunas en común. Son baterías desechables y mejor que las alcalinas a temperaturas bajas. Su comportamiento en capacidad se puede modelar usando una función logarítmica.

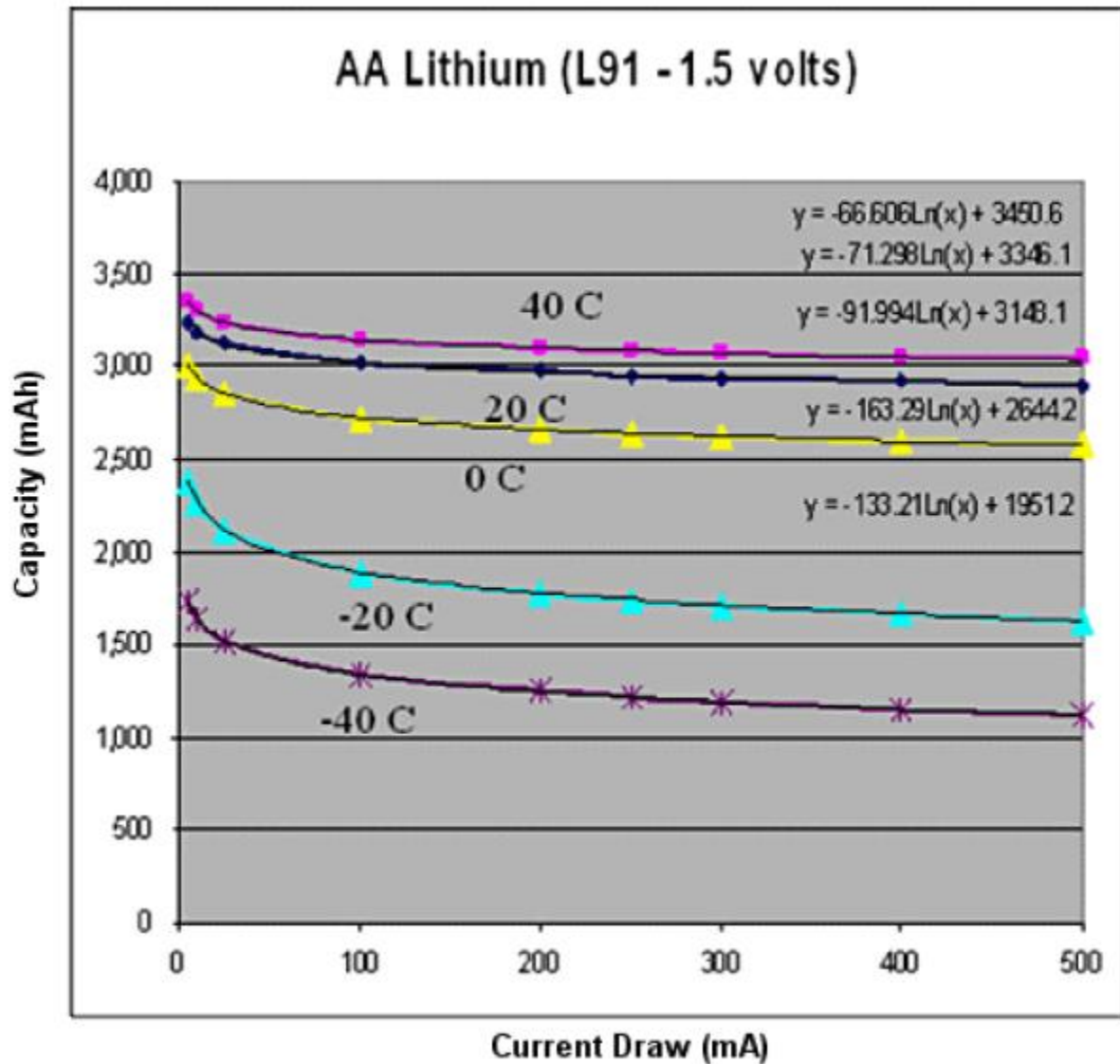


Figura 58 Gráfica capacidad-corriente batería Litio

5.4.1.3 BATERÍA DE NÍQUEL-METAL HIDRURO (NIMH)

Las baterías alcalinas de NiMH son de las mejores que se pueden recargar. Puede soportar un número considerable de recargas. Su modelo en capacidad sigue un polinomio de segundo orden, con un mejor comportamiento a temperaturas bajas y su pendiente es menor, en comparación a las alcalinas no recargables, a medida que aumenta el consumo de corriente.

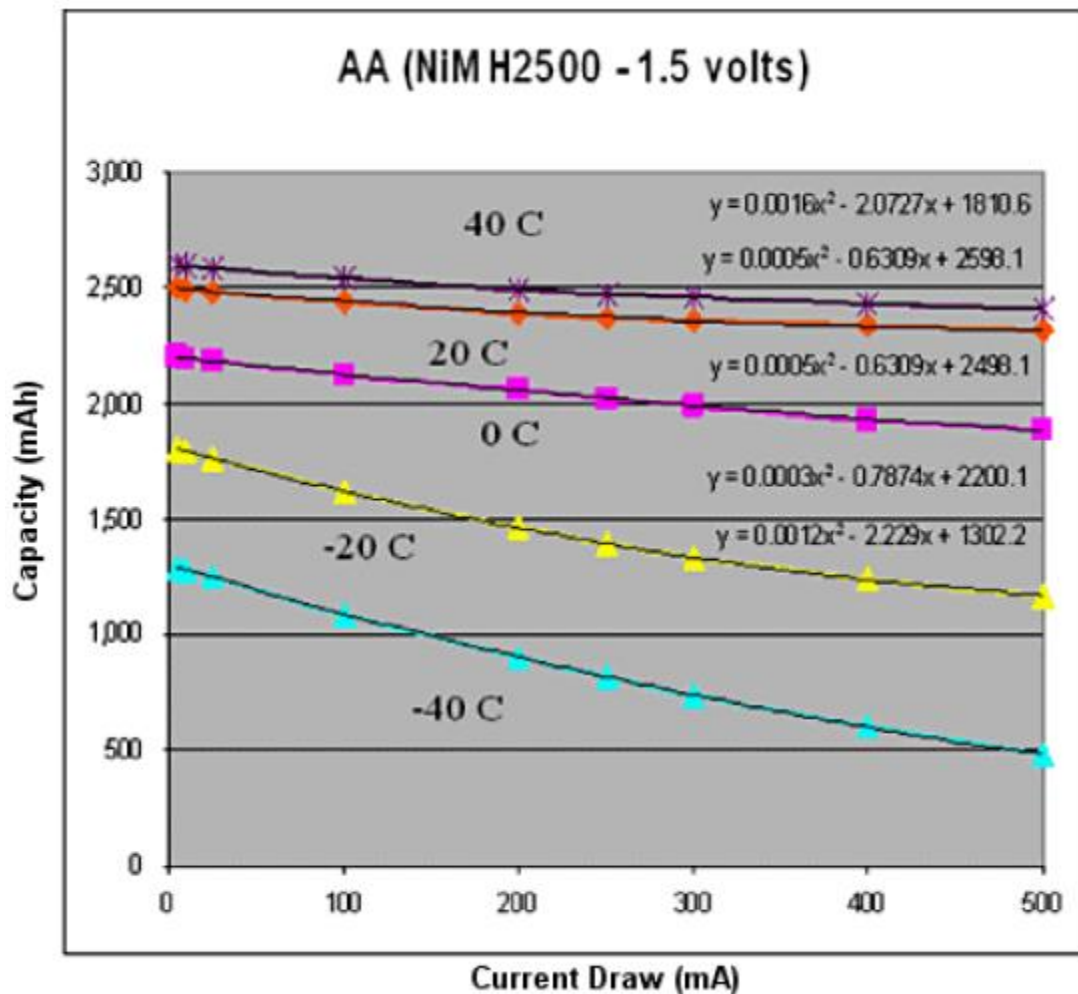


Figura 59 Gráfica capacidad-corriente batería MIMH

6 ELECCIÓN DEL HARDWARE

Después de observar varias alternativas en cuanto a hardware, se ha seleccionado en función del coste, tamaño, consumo energético, comunicación, encapsulado y versatilidad. En primer lugar se ha elegido el módulo de radio de XBee a utilizar puesto que a partir de esta elección, podría variar la elección del resto del hardware. En segundo lugar se procedió a elegir los sensores y por último el microcontrolador. En tercer lugar, después de conocer los requerimientos a nivel de hardware del módulo de XBee y de los sensores en cuanto a tensión, corriente, número de pines de E/S necesarios y protocolos de comunicación se seleccionó el microcontrolador. Y por último, debido a la necesidad de conocer todas las características de los demás componentes para hacer una correcta elección y ajustarse a los requisitos que se necesitasen se escogió la batería. Para la elección de la batería, mediante el datasheet y mediciones se calculó el consumo aproximado del hardware completo con el fin de conocer el consumo total y poder realizar la estimación de la vida útil de esta.

6.1 MÓDULO DE RADIO XBEE S1 PRO

Una vez visto las distintas series y familias de los módulos de radio XBee se ha optado por un módulo de la serie 1 y en la versión pro.

Esta decisión viene dada por poseer una configuración menos compleja que los demás módulos. El coste ha sido otro factor importante, al ser la serie menos compleja también es de las más utilizadas y por lo tanto el coste de cada módulo es más atractivo.

Además, el módulo viene con un firmware de serie que permite la configuración en la topología de estrella. Cambiando el firmware por el de DigiMesh, nos permite una configuración mesh.



Figura 60 Módulo XBee S1 Pro

La elección de la versión Pro en vez de la estándar viene motivada por tener un mayor alcance en la comunicación o una mayor penetración entre las arboledas.

Y por último, cómo el hardware va a estar protegido en cajas metálicas de aluminio, existe la necesidad de tener la antena en el exterior de la caja. Por esta razón, se ha elegido que el módulo de radio XBee venga con el conector UFL. De esta forma, mediante un cable UFL-RPSMA conectará la antena al módulo.



Figura 61 Cable UFL-RPSMA



Figura 62 Antena 2.4GHz

6.2 SENSOR DE TEMPERATURA TMP36

El TMP36 es un sensor de temperatura analógico el cual tiene un rango de voltaje de alimentación de 2,7 V 5,5 V. Esto es ideal para la conexión que vamos a realizar debido a que el módulo de XBee trabaja a 3,3 V. Además, cuenta con un offset permitiendo medir valores de temperatura negativos con voltajes positivos. La conversión es lineal por lo tanto simplifica el procesado de datos. La precisión es de $\pm 2^{\circ}\text{C}$, suficiente para nuestro objetivo. El sensor TMP36 funciona bien con un suministro $< 50 \mu\text{A}$.

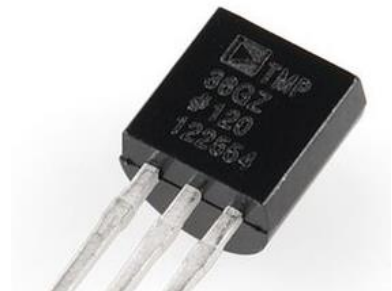


Figura 63 Sensor temperatura TMP36

6.3 SENSOR DE HUMEDAD HIH 5031

Como se ha comentado anteriormente, existe la necesidad de poder alimentar los sensores a una tensión alrededor de 3,3 V.

El sensor HIH 5031 permite una alimentación entre 2,7 V 5,5 V. Tiene salida analógica. Es resistente a la condensación y cuenta con un filtro hidrófobo. Su tamaño es muy reducido en comparación con los demás sensores de humedad. El consumo típico según el datasheet es de 200 μA . Además, el coste por packs de unidades es más económico que los otros sensores que vienen montados en una placa.



Figura 64 Sensor Humedad HIH5031

6.4 SENSOR DE TEMPERATURA AMG8833

Para la detección de áreas a temperaturas elevadas se ha decantado por el sensor AMG8833 de alto rendimiento y alta ganancia en la placa de SparkFun (posibilidad de adquirir de otros fabricantes). El sensor AMG8833 es una matriz de 8 x 8 pixels de infrarrojos. Tiene un consumo de 4,5 mA. Su coste es el más reducido teniendo en cuenta que son 64 pixels y que otros únicamente detectan únicamente un punto. En cuanto a software, el sensor AMG8833 tiene gran versatilidad a nivel de software. El ángulo de visión es de 60° tanto en el eje vertical como horizontal, a mayor distancia menor resolución pero para el uso de este proyecto está bien.

A pesar de que el espectro IR detectado es desde los 5µm a 10µm, se han realizado pruebas y la radiación infrarroja proveniente del Sol no afecta prácticamente en la detección (IR del sol típica, 9,7µm).

En cuanto a comunicación, utiliza el bus I2C para comunicarse con el microcontrolador. Es importante que utilice el bus I2C por si se amplía el número de sensores que también utilicen este bus debido a que únicamente se tendría que conectar dos cables al master para la comunicación (SDA y SCL).

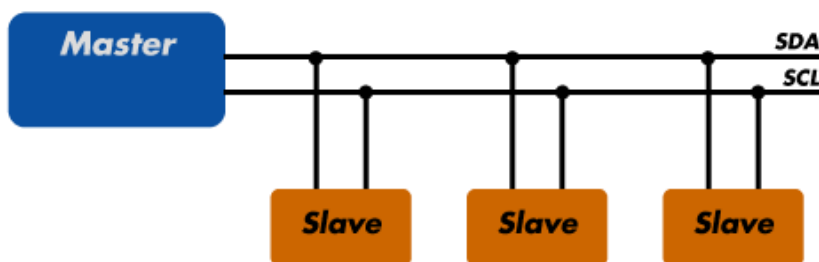


Figura 65 I2C

6.5 MICROCONTROLADOR ARDUINO MINI PRO 3.3V

Como microcontrolador para la adquisición de datos del sensor de infrarrojos AMG8833 se ha escogido el Arduino Mini Pro 3,3 V. Como en el nombre indica, el microcontrolador puede ser alimentado y sus pines trabajan a 3,3 V. Usar la misma tensión para todo el hardware simplifica el circuito al evitar el uso de reguladores de tensión que a su vez aumentarían el consumo de corriente.

Por otro lado, la frecuencia de trabajo del microcontrolador es 8 MHz, la mitad que los demás de Arduino. Se traduce como un menor consumo de corriente, ideal para IoT. Las dimensiones del Arduino Mini Pro 3,3 V tan solo son 30 mm x 18mm. Viene sin pines soldados por lo tanto se puede soldar directamente en un circuito o utilizarlo con pines y zócalos.

Para la programación es necesario un adaptador o cable FTDI.



Figura 66 Adaptador FTDI

6.6 BATERÍA LITIO ER34615M

En cuanto a batería, se buscaba que tuviera un voltaje de 3,6V. También se requería que el coste fuese el más bajo posible. Cabe destacar, que se requiere una batería/pila con una vida bastante larga para evitar tener que sustituirla cada poco suponiendo un gasto añadido.



Figura 67 Batería Litio
ER34615M

Es por estas razones que se ha elegido una pila de litio (Litio cloruro de Tionilo), en este caso la pila de litio industria ER34615M de la marca NX.

Viene con protección integrada de 5 A, tiene una salida estable de tensión y alta densidad de energía. Tiene una salida de corriente constante máxima de 2A. Soporta una gran variabilidad de temperatura. Otra gran ventaja es su curva de descarga, se mantiene prácticamente lineal hasta agotarse.

La capacidad de la pila es de 14,5 Ah. Es decir, con un consumo de cada módulo de 68,33mA despierto y 44,5 uA durmiendo, la vida de la pila es de hasta 3 años.

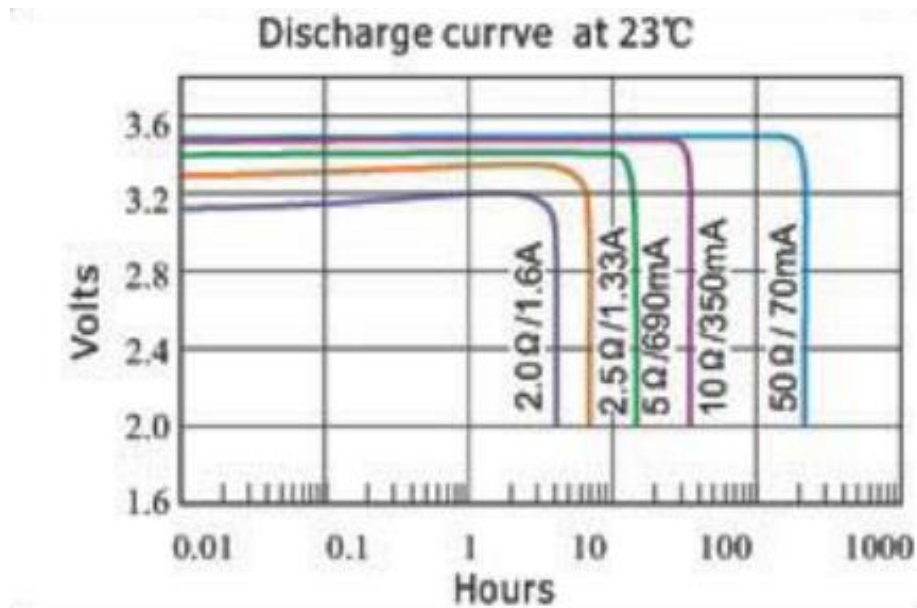


Figura 68 Curva descarga batería

Para más información ver Anexo 1.

7 LOW POWER

En la tecnología IoT es fundamental que el consumo energético sea el mínimo posible. No sirve tener unos módulos los cuales haya que estar cambiando constantemente la batería o que requieran estar en constante alimentación.

Para reducir el consumo se va a dormir el microcontrolador y los módulos XBee mientras no estén en uso y los sensores se dejarán de alimentar también. Esto reducirá el consumo durante drásticamente durante el tiempo en el cual no se esté adquiriendo información. Por otro lado, el microcontrolador incorpora ciertos elementos los cuales no se van a hacer uso de sus funciones y se pueden eliminar.

7.1 CONFIGURACIÓN MÓDULOS XBEE

A la hora de configurar los módulos XBee hay que diferenciar de dos tipos. Un módulo coordinador, el cual será conectado al PC mediante el XBee explorer. Y un módulo router, el cual recibe la información de los sensores y envían la información al coordinador.

El módulo usado como coordinador en ningún momento dejará de estar en funcionamiento. En cambio, los otros módulos entrarán en fase Sleep cíclicamente.

Es más, se ha sustituido el firmware de origen por el firmware XB24 DM (DigiMesh 2.4 GHz), el cual permite una conexión en malla. Y por último, los parámetros CH, ID y BD deben de ser los mismo para todos los módulos conectados en la misma red. A continuación se mostrarán los parámetros a configurar para cada tipo de módulo mediante XCTU. [34]

7.1.1 COORDINADOR

Como coordinador debe de aceptar mensajes de todos los módulos de la misma red. Los valores de DH y DL indican la direcciones de 64 bits que se permiten recibir al módulo. En este caso, el DL se debe de poner a FFFF para admitir todas las direcciones.

▼ Addressing

Change Addressing Settings

i	SH Serial Number High	13A200
i	SL Serial Number Low	4177F950
i	DH Destination Address High	0
i	DL Destination Address Low	FFFF
i	NI Node Identifier	Coordinador
i	NT Network Discovery Back-off	82 * 100 ms
i	NO Network Discovery Options	0
i	CI Cluster ID	11

Figura 69 Configuración dirección XCTU Coordinador

El parámetro NI sirve para identificar el módulo en XCTU con el nombre de Coordinador.

Como coordinador, puede hacer la función de sincronizar todos los módulos de la red para que se despierten y se duerman a la vez. En este caso, hay que modificar los parámetros SM, SO, SP y ST.

▼ I/O Sampling

Configure I/O Sampling Parameters. Click on + to expand the list of parameters.

i	IC DIO Change Detect	0
i	IF Sleep Sample Rate	1
i	IR Sample Rate	0 * 1 ms

▼ Sleep Commands

Configure Sleep Parameters

i	SM Sleep Mode	Sleep Support [7]
i	SO Sleep Options	1
i	SN Number of Cycles Between ON_SLEEP	1
i	SP Sleep Time	107AC0 * 10 ms
i	ST Wake Time	BB8 * 1 ms
i	WH Wake Host Delay	0 * 1 ms

Figura 70 Configuración Sleep Commands XCTU

La ventaja de esta configuración es que sabemos en todo momento cuando se va a realizar el envío de datos. Por contra, las grandes desventajas que tiene es que se necesita dejar despiertos los módulos más tiempo debido al tiempo de espera para que todos los módulos les dé tiempo de enviar los datos, y el otro inconveniente es a la hora de procesar los datos mediante el PC debido a la gran cantidad de datos que se envían en el mismo momento.

La otra manera para configurar los módulos es que el Coordinador no actúe como un sincronizador de los módulos para despertarlos y dormirlos sino que cada módulo se despierte y se duerma aleatoriamente (respetando los tiempos de despierto y durmiendo). La configuración de los tiempos se hace directamente en cada módulo.

La mayor ventaja de esta configuración es que permite ajustar más los tiempos permitiendo estar despierto un menor tiempo y reducir el consumo. Otra ventaja es la eliminación del problema de buffer de entrada del PC al no colapsar datos debido a que no llegan de manera síncrona. Las desventajas es que no sabemos cuándo va a llegar la información de cada módulo con precisión y que si se requiere cambiar los parámetros de SP y ST se necesita modificarlo en cada uno de los módulos.

7.1.2 ROUTER

Los routers reciben adquieren la información de los sensores mediante sus entradas analógicas y el bus serie. Además, como su nombre indica, permite hacer un router dinámico para que nodos más lejanos al coordinador puedan enviar la información o saltar obstáculos.

En el caso de los router, hay que indicar la dirección del Coordinador al cual se quiere enviar la información.

▼ Addressing
Change Addressing Settings


i	SH Serial Number High	13A200
i	SL Serial Number Low	4177F956
i	DH Destination Address High	<input type="text" value="13A200"/>
i	DL Destination Address Low	<input type="text" value="4177F950"/>
i	NI Node Identifier	<input type="text" value="Xbee A"/>
i	NT Network Discovery Back-off	<input type="text" value="82"/> * 100 ms 
i	NO Network Discovery Options	<input type="text" value="0"/>
i	CI Cluster ID	<input type="text" value="11"/>

Figura 71 Configuración dirección XCTU Router

En este caso la dirección de 64 bits del coordinador es 13A2004177F950.

Para habilitar las entradas y salidas del módulo hay que indicar que pin queremos usar y su función.

▼ I/O Settings
Modify DIO and ADC Options

i D0 DIO0/AD0	ADC [2]
i D1 DIO1/AD1	ADC [2]
i D2 DIO2/AD2	Disabled [0]
i D3 DIO3/AD3	Disabled [0]
i D4 DIO4/AD4	Disabled [0]
i D5 DIO5/AD5/ASSOCIATED_INDICATOR	Assoc. Indicator [1]
i D6 DIO6/RTS	Disable [0]
i D7 DIO7/CTS	CTS flow control [1]
i D8 DIO8/SLEEP_REQUEST	Sleep Request [1]
i D9 DIO9/ON_SLEEP	ON/SLEEP Output [1]

Figura 72 Configuración I/O XCTU Router

Para los sensores de temperatura y humedad se ha habilitado las entradas D0 y D1 como entrada analógica (el sensor de infrarrojos se comunica mediante I2C con el microcontrolador, y el microcontrolador con el XBee directamente a través del bus serie). El D9 o DIO0/ON_SLEEP es un pin que se pone en estado alto mientras el módulo está despierto.

Este pin se usará para alimentar el sensor de temperatura y humedad, y para activar una interrupción en el microcontrolador.

A la hora de dormir y despertar los módulos, se puede configurar como se ha descrito en el coordinador. Si utilizamos el coordinador como sincronizador de los módulos la configuración es la siguiente.

En el parámetro SM hay que indicar que es un nodo que será sincronizado mediante el Sleep Suport (en nuestro caso el coordinador). Tanto en SP y ST no hace falta modificar los valores de serie debido a que es el coordinador quien marca los tiempos.

Si queremos usar la otra configuración, que se despierten de manera asíncrona, los parámetros SP y ST sí que hay que modificarlos indicando el tiempo que se quiera. Además de que hay que cambiar el parámetro SM por Async.Cyclic Sleep.

▼ I/O Sampling
Configure I/O Sampling Parameters. Click on + to expand the list of parameters.

i IC DIO Change Detect	0
i IF Sleep Sample Rate	1
i IR Sample Rate	FFFF * 1 ms

▼ Sleep Commands
Configure Sleep Parameters

i SM Sleep Mode	Async. Cyclic Sleep [4]
i SO Sleep Options	1
i SN Number of Cycles Between ON_SLEEP	1
i SP Sleep Time	C8 * 10 ms
i ST Wake Time	7D0 * 1 ms
i WH Wake Host Delay	0 * 1 ms

Figura 73 Configuración Async.Cyclic Sleep

7.2 BAJO CONSUMO MICROCONTROLADOR ARDUINO

7.2.1 PROGRAMACIÓN MICROCONTROLADOR ARDUINO

A la hora de programar el Arduino Mini Pro 3,3V, se ha utilizado la librería del sensor AMG8833 SparkFun_GridEYE_Arduino_Library.h y la librería para dormir el arduino LowPower.h.

A la hora de dormir el microcontrolador, usaremos la función:

```
LowPower.powerDown(SLEEP_FOREVER, ADC_OFF, BOD_OFF);
```

Figura 74 Función SLEEP Arduino

La cual permite tener el Arduino en modo bajo consumo hasta recibir la señal del módulo XBee del pin 13, pin que pasa a HIGH cuando el módulo se despierta.

7.2.2 HARDWARE MICROCONTROLADOR ARDUINO

En cuanto al hardware del microcontrolador, con una simple modificación podemos reducir notablemente su consumo tanto en modo despierto y sobretodo en modo SLEEP.[35]

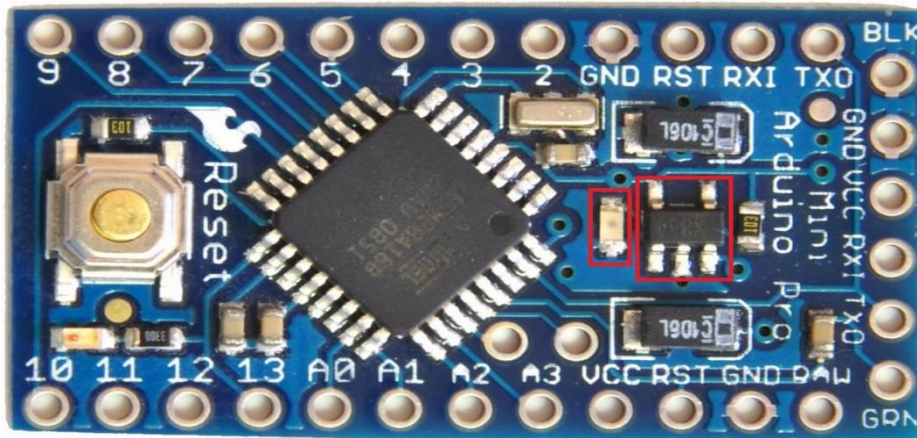


Figura 75 Regulador a eliminar Arduino Mini Pro

En la imagen podemos observar marcado con un recuadro el regulador de tensión y el LED de encendido. Si se procede a la eliminación de estos dos componentes, ya sea desoldando o cortando las pistas.

El consumo del microcontrolador es el siguiente:

Modificación	Estado	Consumo
Sin modificar	Despierto	4,74 mA
Sin modificar	Durmiendo	0,90 mA
Sin LED	Despierto	3,90 mA
Sin LED	Durmiendo	0,0541 mA
Sin LED, sin regulador	Despierto	3.58 mA
Sin LED, sin regulador	Durmiendo	0,0045 mA

Tabla 10 Comparativa consumo Arduino Mini Pro

7.3 CONEXIÓN SENSORES

Con el fin de reducir el consumo de corriente, los sensores de temperatura y humedad están conectados al pin 13 del módulo de XBee de manera que cuando el módulo está en modo SLEEP los sensores dejan de ser alimentados.

Así mismo, el sensor infrarrojo AMG8833 está conectado al pin 10 del microcontrolador (al pin 10 para facilitar el conexionado en el circuito impreso). Cuando el Arduino mini se despierta, activa el pin 10 y alimenta el sensor. Se ha usado este conexionado debido a problemas al conectar los 3 sensores directamente al pin 13 del XBee.

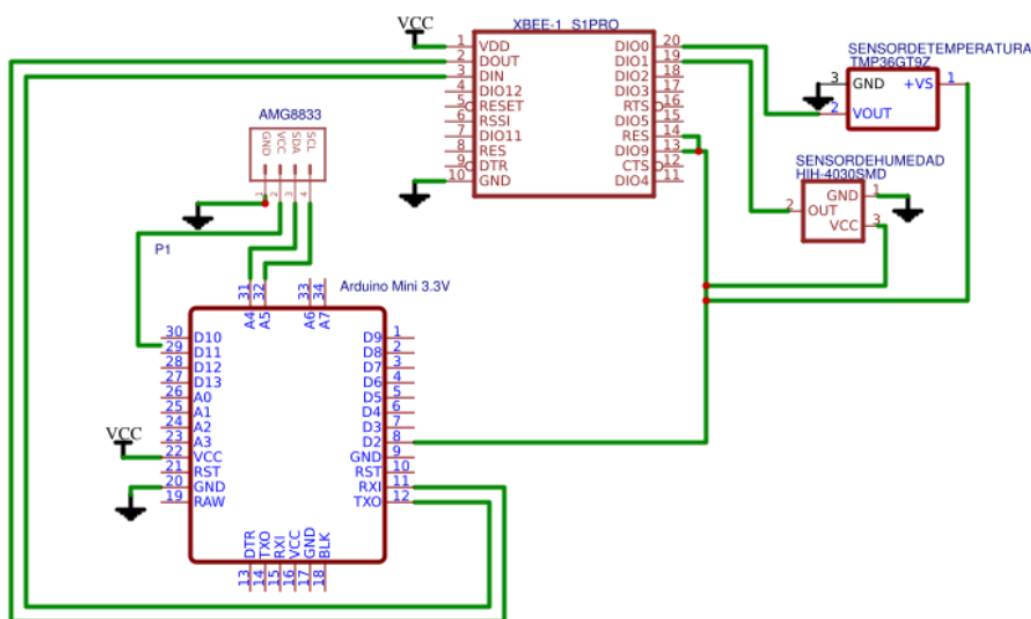


Figura 76 Esquema conexión módulos Router

7.4 CONSUMO EN FUNCIÓN DEL CICLO DE TRABAJO

A la hora de realizar el cálculo de consumo de corriente se debe de conocer el consumo en modo On y en modo Sleep. En función del ciclo de trabajo de estos dos modos, se obtendrá un consumo medio menor o mayor.

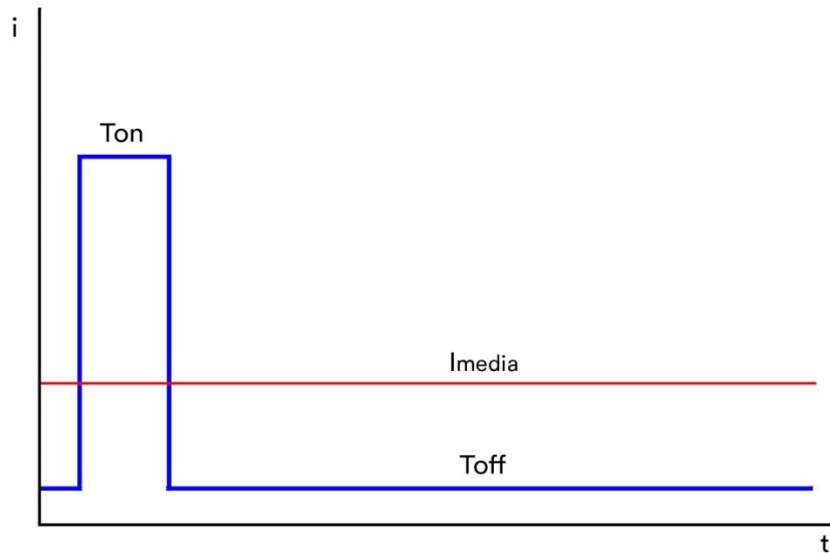


Figura 77 Ciclo de trabajo

	Consumo (ON) [mA]	Consumo (OFF) [mA]
Xbee	60	0,04
Arduino	3,58	0,0045
TMP36	0,05	0
HIH5031	0,2	0
AMG8833	4,5	0
Total	68,33	0,0445

Tabla 11 Consumo de corriente de los componentes

$$I_m = \frac{I_{on} \cdot T_{on} + I_{off} \cdot T_{off}}{T_{on} + T_{off}}$$

$$\text{Duración} = \frac{\text{Capacidad batería (Ah)}}{I_m} \cdot 0,9$$

Por ejemplo, con un tiempo $T_{on}=2s$ y $T_{off}=5min$, la duración teórica de la pila es de casi 3 años.

Para ver en más detalle consultar Anexo 2.

8 ARQUITECTURA DE LA RED DE SENSORES

8.1 CIRCUITO IMPRESO

Se ha diseñado un circuito impreso para el ensamblaje y conexionado de todos los componentes.

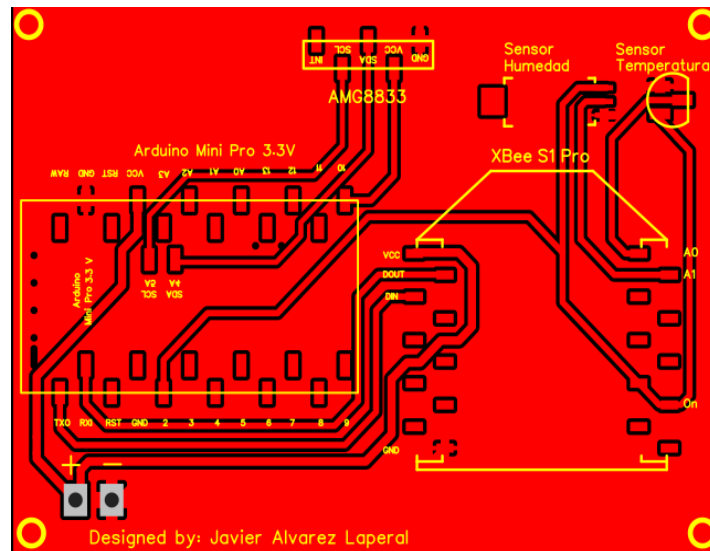


Figura 78 Esquema diseño PCB

El diseño se ha realizado mediante la plataforma online que ofrece EasyEDA. EasyEDA dispone de librerías de componentes y también permite el diseño de componentes tanto para Schematics como para PCB. De igual modo, admite exportar en formato para Altium y generar archivos Gerber.[36]

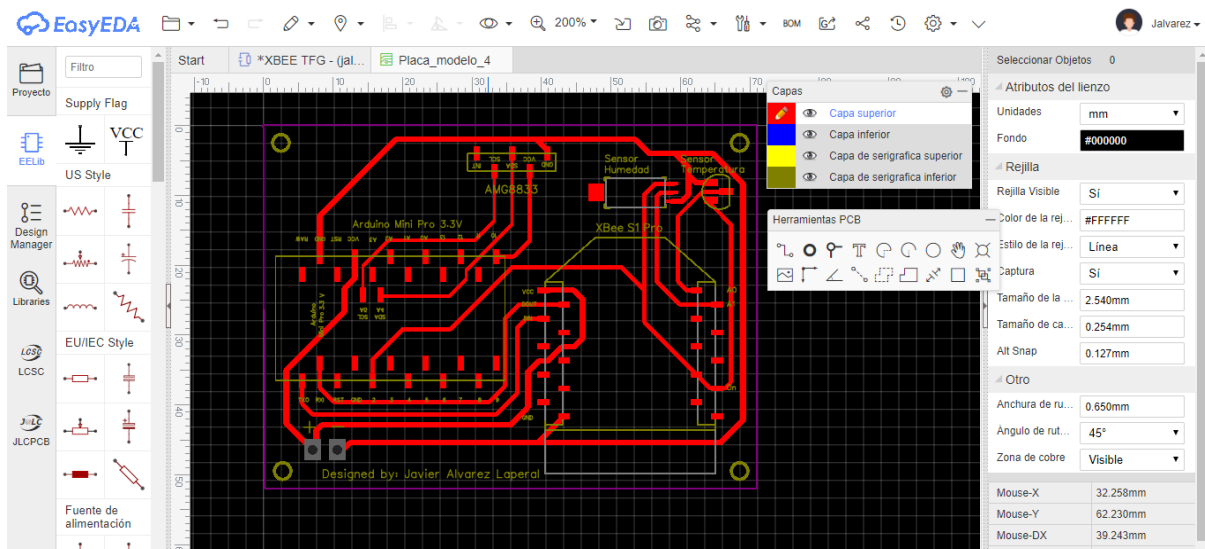


Figura 79 Diseño online PCB mediante EasyEDA

En la siguiente imagen podemos observar una previsualización del circuito realizado.

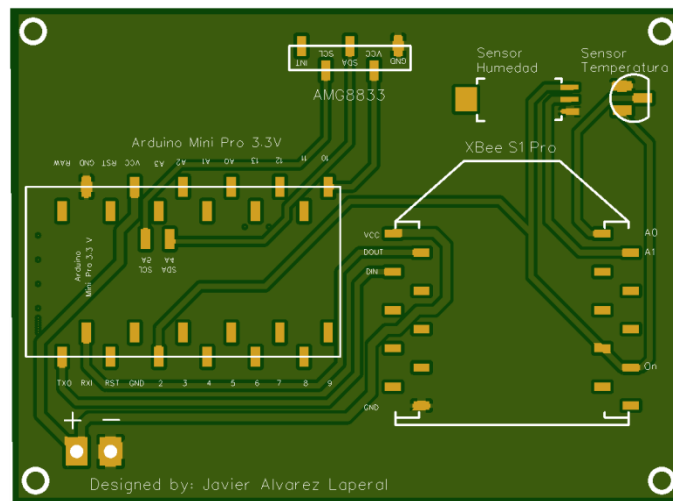


Figura 80 Previsualización PCB

8.2 POSICIÓN HARDWARE

Para proteger se utiliza una caja metálica donde irá alojado el circuito impreso con los sensores, microcontrolador y el módulo de radio, además de la batería.

Los sensores han sido colocados de manera estratégica para su correcto uso.

En primer lugar, la posición del sensor de humedad HIH5031 es la menos importante. Esto es debido a que mide la humedad que hay en el ambiente y no necesita una posición concreta.

En segundo lugar, el sensor de temperatura TMP36 ha sido colocado en un lateral para poder ser colocado pegado a una cara de la caja metálica donde estará el circuito y la pila. La necesidad de tener en contacto el sensor con la caja es el reducir las variaciones de temperatura puntuales, se podría decir que añadimos un delay al sensor.



Figura 81 Módulo Router armado

En tercer lugar, el sensor infrarrojo AMG8833 es colocado en un extremo donde hay una obertura en la caja metálica para permitir recoger los datos de la temperatura.

Por último, tanto el microcontrolador como el módulo de radio están situados de manera que facilita el conexionado. El módulo XBee al tener el conector UFL nos permite colocar la antena en el exterior de la caja y según el caso, en la posición que mejor convenga.



Figura 82 Módulo Router abierto

Debido a que estos módulos estarán a la intemperie, deberán soportar las inclemencias del tiempo. Es por esta razón que para proteger el circuito y los sensores se impermeabilizará mediante un revestimiento de silicona. El revestimiento de silicona es flexible y soporta tanto bajas como altas temperaturas. Además permite aislar y proteger el circuito y sensores de cualquier tipo de cortocircuito, humedades o suciedad.



Figura 83 Módulo con antena RPSMA

8.3 INSTALACIÓN MÓDULOS

Para la instalación de los módulos hay que tener en cuenta la distancia entre módulos, la altura e inclinación del módulo.

8.3.1 DISTANCIA ENTRE MÓDULOS

La distancia ideal entre los diferentes módulos sería la distancia máxima que es capaz de detectar el sensor de infrarrojos AMG 8833. De manera que no queda ninguna área sin ser monitorizada. El inconveniente de esta solución es el gran número de módulos que serían necesarios para cubrir zonas extensas.

Después de exponer las características de los sensores y explicar la idea del proyecto a los Agentes Rurales, se llegó a la conclusión de que una distancia comprendida entre 100 m y 300 m sería razonable y realista para implementar.

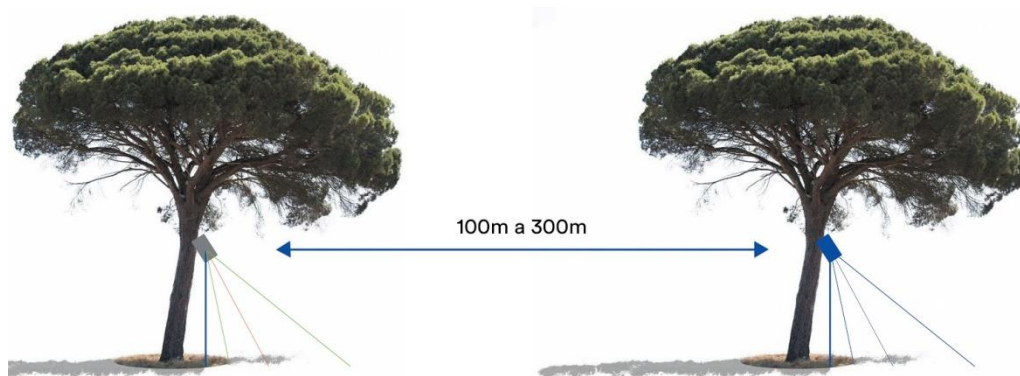


Figura 84 Ejemplo distancia módulos

8.3.2 ALTURA E INCLINACIÓN DE LOS MÓDULOS

La altura e inclinación de los módulos está restringido por la distancia máximo de detección del sensor AMG8833 de 7 m. Por lo tanto, en función de la altura del módulo el ángulo máximo de inclinación variará, con una altura comprendida de 0,5 m a 3 m. Cuanto más próximo el ángulo de instalación al ángulo máximo, el área de detección será mayor. Además, dependiendo de la zona será aconsejable apuntar a la superficie del suelo o a una cierta altura.

Para más detalle ver Anexo 3.

9 ADQUISICIÓN DE DATOS

9.1 MATLAB

En este proyecto se ha utilizado Matlab como software para la adquisición y procesamiento de los datos.

Matlab es un software matemático con un lenguaje de programación propio. Se utilizará para trabajar con vectores y matrices, conversión de los datos tanto ASCII, hexadecimal, decimal y binario, y para generar gráficas.

Se ha optado por este software debido a su versatilidad, su potencia de cálculo y a que es un programa que se ha utilizado en la universidad y es usado para investigación.[37]

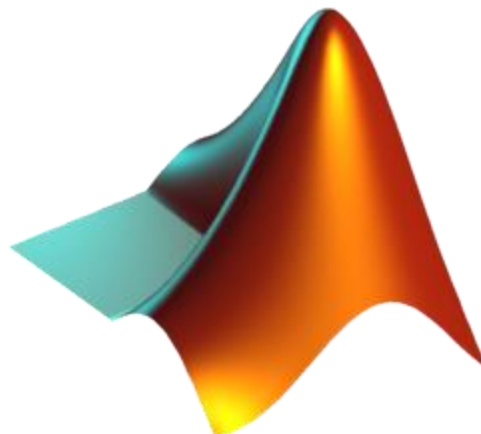


Figura 85 Logo Matlab

```
ProgramaPrincipal.m  X  +
101 - [Datos_1,i]=ClasificarV(DatosEntrada,i);
102 - i=i+1;
103 - if DatosEntrada(i+2)==IO
104 -     [Datos_2,i]=ClasificarV(DatosEntrada,i);
105 -     i=i+1;
106 -     [Datos_3]=ClasificarVfinal(DatosEntrada,i,Longitud);
107 - else
108 -     [Datos_3]=ClasificarVfinal(DatosEntrada,i,Longitud-23);
109 -     i=i+1;
110 -     [Datos_2,i]=ClasificarV(DatosEntrada,i);
111 - end
112
113 - if Datos_1(11)==85
114 -     [T1,H1]=ADQ_Sensor(Datos_1);
115 -     [T2,H2]=ADQ_Sensor(Datos_2);
116 - else
117 -     [T1,H1]=ADQ_Sensor(Datos_2);
118 -     [T2,H2]=ADQ_Sensor(Datos_1);
119 - end
120
121
122 %Obtenemos la posición del 1ºPixel más caliente
123 - [iP(1),iPixel]=PosicionP(Datos_3,iPixel);
124 %Temperatura del 1ºPixel más caliente
125 - [P1,iPixel]=Temperatura_entero(Datos_3,iPixel);
```

Figura 86 Parte del Script de Matlab

Para poder obtener los datos recibidos en el coordinador, se usa la placa XBee explorer la cual permite conectar el módulo XBee al puerto serie.

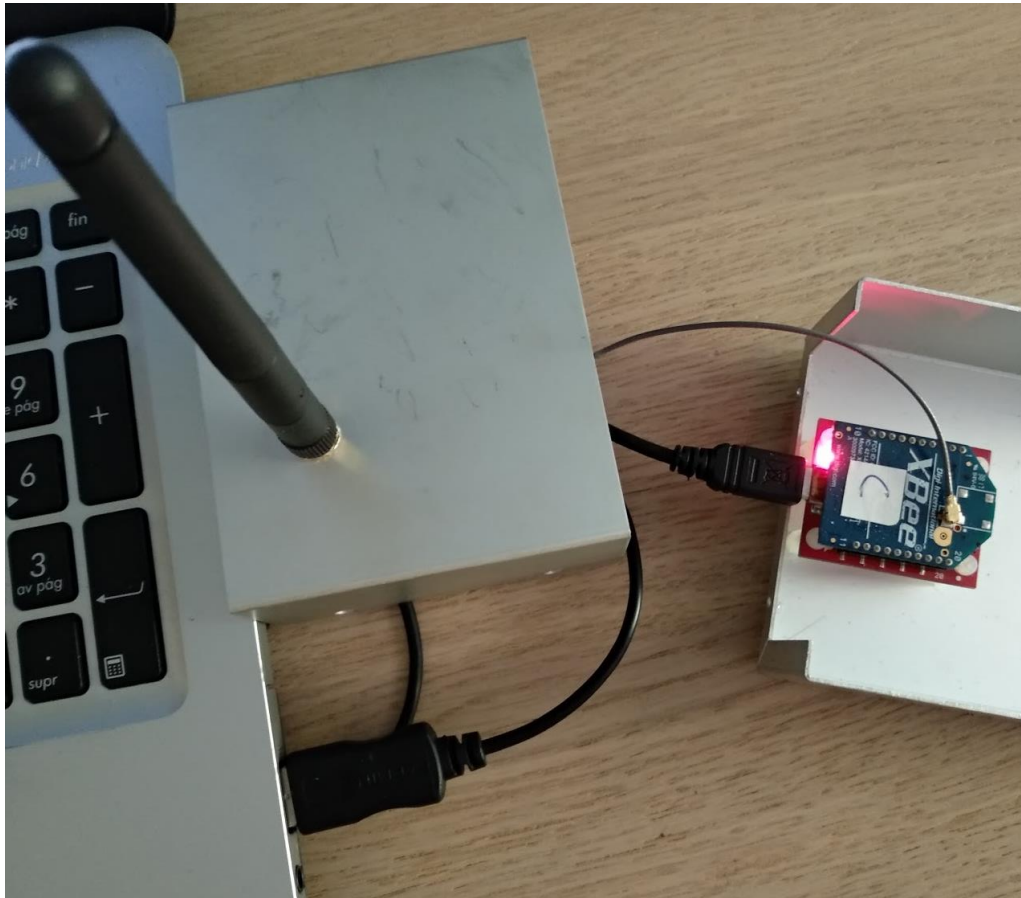


Figura 87 Conexión Coordinador al PC

9.2 INTERFAZ GRÁFICA

En cuanto a la visualización en tiempo real de los datos de los módulos, se generarán unas gráficas tanto de temperatura y humedad en cada instante, una gráfica para ver el historial de temperatura comprendido en un tiempo determinado y una imagen de 64 pixels donde se muestra en escala de grises los 5 pixels con mayor temperatura detectados por el sensor de infrarrojos AMG8833.

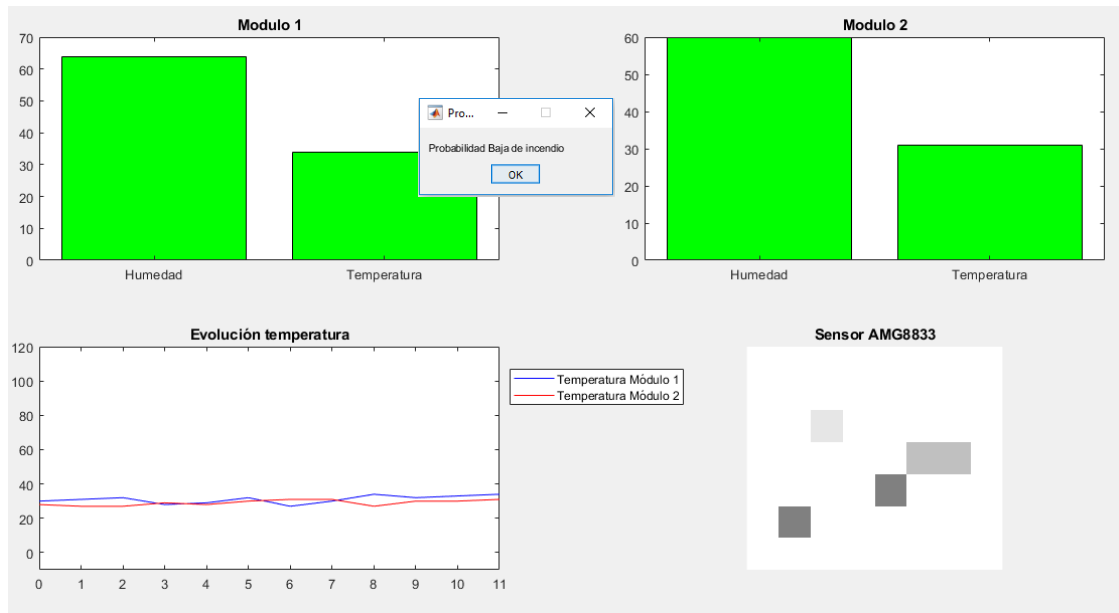


Figura 88 Visualización Matlab sin alertas

Para la prevención y detección de posibles incendios, los gráficos de barra cambiarán de color según la temperatura y humedad. Verde cuando no hay riesgo, amarillo si hay posibilidad de un incendio inminente y por último rojo, indicará un posible incendio.

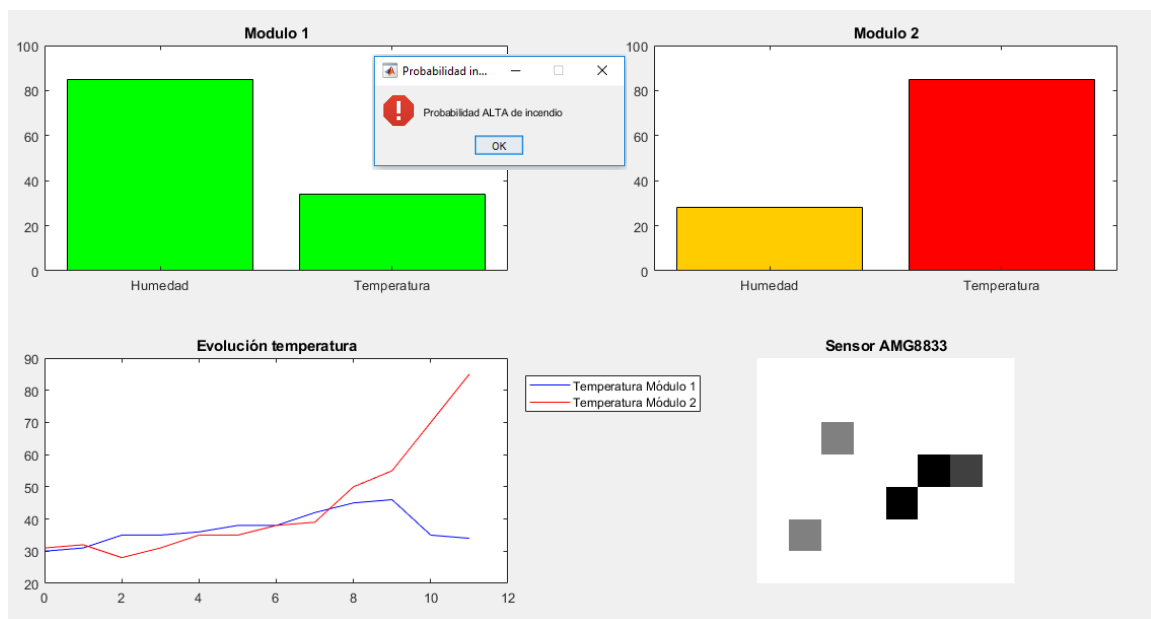


Figura 89 Visualización Matlab con alertas

Además, una ventana emergente aparece cada vez indicando la probabilidad de incendio en función de los datos obtenidos de los sensores.

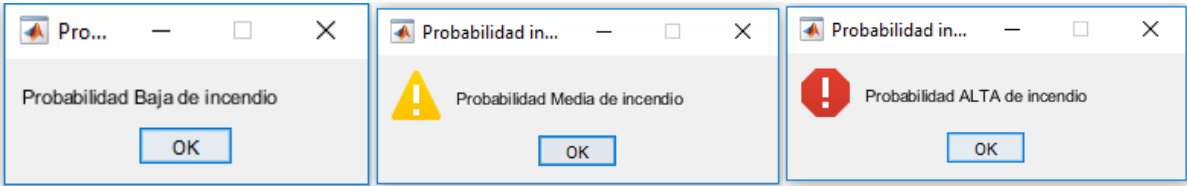


Figura 90 Probabilidad de incendio

En cuanto a la discriminación de la probabilidad de incendio se ha tenido en cuenta las recomendaciones y experiencia de los Agentes Rurales y Bomberos. En la siguiente tabla se muestra la probabilidad en función de los valores obtenidos con los sensores:

Temperatura	$\geq 35\text{ }^{\circ}\text{C}$	Probabilidad de incendio BAJA
Humedad	$\geq 40\%$	
Temperatura IR máx	$\geq 35\text{ }^{\circ}\text{C}$	
Temperatura	$< 35^{\circ}\text{C} \leq 50^{\circ}\text{C}$	Probabilidad de incendio MEDIA
Humedad	$< 30\% \leq 40$	
Temperatura IR máx	$< 35^{\circ}\text{C} \leq 50^{\circ}\text{C}$	
Temperatura	$> 50^{\circ}\text{C}$	Probabilidad de incendio ALTA
Humedad	$< 30\%$	
Temperatura IR máx	$> 50^{\circ}\text{C}$	

Tabla 12 Probabilidad de incendio

Si el sensor AMG8833 detecta una temperatura mayor a 50°C pero la temperatura ambiental es menor se daría un aviso de probabilidad de incendio media.

También, se crea una documento de Microsoft Excel donde se almacenará los datos de temperatura y humedad indicando la fecha y hora para tener un registro almacenado.

Modulo 1									
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	Modulo 1	Modulo 2							
2	Temperatura	Humedad	Temperatura	Humedad	Año	Mes	Día	Hora	Minutos Segundos
3	26,78	64,23	26,12	65,35	2018	8	20	15	33 33
4	25,55	64,3	26,78	65,42	2018	8	20	15	38 27
5	24,28	64,25	25,68	65,37	2018	8	20	15	43 40
6	26,12	64,4	26,11	65,52	2018	8	20	15	48 12
7	25,52	64,27	26,32	65,39	2018	8	20	15	53 22
8	25,41	63,82	25,42	64,94	2018	8	20	15	58 54
9	25,68	64,31	26,32	65,43	2018	8	20	16	3 4
10	26,03	64	25,55	65,12	2018	8	20	16	8 19
11	25,86	63,55	25,42	64,67	2018	8	20	16	13 41
12	26,11	64,12	24,28	65,24	2018	8	20	16	18 5
13	26,32	65,25	25,86	66,37	2018	8	20	16	23 31
14	25,42	64,44	25,52	65,56	2018	8	20	16	28 7

Figura 91 Registro temperatura y humedad en Excel

9.2.1 INTERFAZ GRÁFICA A NIVEL LOCAL

Debido a la necesidad de economizar en los datos enviados únicamente se envían los 5 pixels más calientes detectados mediante el sensor AMG8833. Pero existe la posibilidad de enviar los 64 pixels con la temperatura de cada uno de ellos y realizar un procesamiento de imagen convirtiendo la información en una imagen donde el color representa un rango de temperatura.



Figura 92 Sensor AMG8833 con vela

27	27	27	27	27	26	25	25
27	28	28	28	28	26	25	26
27	29	34	37	27	25	25	25
28	29	66	67	27	25	25	24
27	29	43	47	26	24	24	24
27	28	32	33	25	24	23	23
26	26	29	30	25	24	23	23
26	26	28	29	26	25	23	24

Figura 93 Processing AMG8833 de la vela

10 IMPLEMENTACIÓN DE LA RED INALÁMBRICA DE SENSORES PARA LA PREVENCIÓN Y DETECCIÓN DE INCENDIOS

El Parque Natural de la Sierra de Collserola abarca 82,95km², igual que la superficie de la isla de Formentera. El coste a nivel económico, social y ambiental que supone un incendio forestal de gran envergadura es elevado como hemos podido estudiar.

Una inversión económica para implementar una red inalámbrica de sensores para la prevención y detección de incendios podría suponer un gran ahorro a largo plazo. No solamente económicamente, se podría llegar a salvar vidas tanto humanas como animales.

10.1 DIMENSIONADO DE LA RED INALÁMBRICA DE SENSORES

Teniendo en cuenta la recomendaciones de los Agentes Rurales y Bomberos, 100m de distancia entre módulos sería aceptable puesto que actualmente no hay instalada ninguna red de estas características. Si tomamos 100 m como distancia entre módulos y que por cada módulo coordinador configuraremos 24 routers, por cada módulo coordinador cubrimos un área de 25 hectáreas o 0,25.

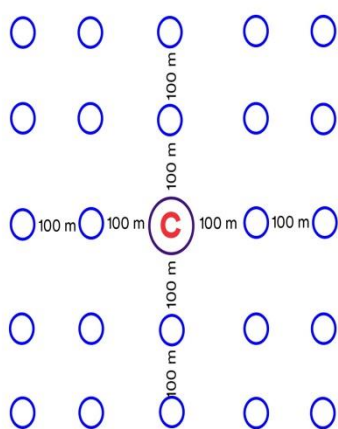


Figura 94 Estructuración de la instalación de los módulos

Si se quisiera cubrir la superficie total del Parque Natural de la Sierra de Collserola, supondría el uso de 21 Coordinadores y 498 Routers.

Es cierto que una distancia de 100 m puede ser elevada dependiendo de la zona, si la distancia la partimos por la mitad, es decir, 50 m entre módulos se podrá prevenir y detectar con mayor antelación.

A menor distancia entre módulos mayor número de estos es necesario, esto se traduce en mayor coste económico. Por lo tanto, a la hora de implementar la red inalámbrica de sensores es necesario un estudio de la zona previamente para determinar la distancia entre módulos.

10.2 COSTE IMPLEMENTACIÓN

El coste por módulo coordinador es de 72,43€ y por módulo router 137,36€. Por lo tanto, el coste total para una distancia entre módulos de 100 m es 1.118.537,23€. Sumando el coste de mano de obra para la instalación de los módulos, un equipo informático para la configuración de los módulos y la programación del software. Se obtiene un coste de 2.355.735,14€. Si tomamos una distancia de 50 m entre módulos, el coste total asciende a 7.723.22,71€.

El coste mostrado es una estimación si se quisiera cubrir todo el Parque Natural de la Sierra de Collserola. Esa sería la situación ideal puesto que se tendría monitorizado en todo momento toda el área del parque.

Siendo realista, supone un desembolso inicial de gran envergadura. Debido a esto, en un primer momento se empezaría a cubrir las zonas de mayor riesgo de incendio o las zonas más críticas. De modo que estas zonas serían monitorizadas en todo momento previniendo incendios y/o detectándolos en edad temprana facilitando la extinción del fuego.

Teniendo en cuenta el desembolso económico posterior a un incendio forestal y las secuelas sociales y ambientales, la implementación de este proyecto podría ser factible. A pesar de que el coste es únicamente una previsión, este proyecto se podría llegar a implementar en zonas de prueba y posteriormente ampliarlas para una mayor cobertura de terreno.

Para más información consultar Anexo 4.

11 CONCLUSIONES

Debido a que el 96% de los incendios son provocados, los sistemas de detección utilizados actualmente resultan poco eficientes para la detección temprana de incendios. Uno de los factores más influyentes en la ineficacia de las medidas de detección utilizadas por el momento es su elevado coste, ya sea al adquirir el equipo y/o el mantenimiento. Esto es un gran hándicap puesto que los recursos económicos destinados a la prevención y detección de incendios forestales son limitados y no permite disponer una vigilancia total las 24h.

Por lo tanto, la implementación de una red de bajo consumo para la prevención y detección de incendios es una eficaz solución para cubrir las limitaciones actuales. Permite un uso de la red las 24h con una amplia zona de monitorización y, además, con un reducido coste de implementación y de mantenimiento en comparación con las medidas actuales.

A la hora de diseñar una red inalámbrica de bajo consumo, existen diferentes tecnologías capaces de realizar las funciones de envíos de datos. En este proyecto se ha optado por los módulos de radio XBee de Digi International. Las grandes ventajas de los módulos XBee son que usan bandas ISM no licenciadas, permiten la configuración de diferentes tipologías de red (permitiendo la comunicación entre módulos) y la tasa de transferencia de datos es ilimitada. Sin embargo, los módulos XBee requieren una configuración más compleja para su funcionamiento.

En cuanto a la detección de incendios, los sensores infrarrojos capaces de detectar longitudes de onda entre $4\mu\text{m}$ y $5\mu\text{m}$ resultan ser los más idóneos debido a que permiten reducir falsas alarmas y por lo tanto mejorar la detección. El uso de fotodiodos sería conveniente debido a su bajo consumo pero por dificultades a la hora de adquirir estos ha sido imposible ponerlo en práctica. No obstante, se ha utilizado un sensor de infrarrojos con una matriz de 64 píxeles que devuelve el valor de la temperatura de cada uno de los píxeles. Este sensor ha sido complementado con un sensor de temperatura y uno de humedad relativa.

Para la elección de los componentes se ha tenido en cuenta el coste y el consumo de corriente con la finalidad de llevar a cabo un sistema de bajo consumo y bajo coste. El resultado ha sido el diseño de un módulo con una autonomía de casi 3 años. Si sumamos el reducido mantenimiento necesario una vez instalados los módulos, resulta atractiva y acertada esta red inalámbrica de bajo consumo para la prevención y detección de incendios en zonas de alto riesgo de incendios forestales y/o zonas críticas, por ejemplo zonas donde haya un gran número de viviendas cercanas.

11.1 LÍNEAS FUTURAS DE TRABAJO

La utilización de un módulo GSM (Global System for Mobile) en los nodos coordinadores permitirá subir a un servidor web los datos recibidos para su posterior tratamiento y visualización. De este modo, nace la necesidad de una aplicación para ordenadores y dispositivos móviles donde poder visualizar a tiempo real los datos y las posibles alertas.

Respecto al software, habilitar la bidireccionalidad de manera que permita al usuario solicitar información sobre un punto en un momento dado. Para hacer más eficaz la prevención de incendios, se recogerían datos sobre la pendiente del terreno, el tipo de vegetación y un registro de precipitaciones de la zona para complementar los datos recogidos por los sensores.

Y por último, referente a los sensores, una posible mejora sería el uso de 2 sensores AMG8833 para un mayor campo de visión. Una segunda mejora podría ser la incorporación de un anemómetro para poder estudiar la dirección de propagación del incendio. La tercera mejora sería la posibilidad de integrar fotodiodos sensibles a las longitudes de onda entre $4\mu\text{m}$ y $5\mu\text{m}$ con la finalidad de sustituir el sensor AMG8833 y reducir el consumo energético.

12 AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradecer a mis padres por el apoyo recibido en todo momento, los consejos dados y por financiar este proyecto, el cual hubiera sido imposible realizar con mis medios.

Agradecer también a los Agentes Rurales y Bomberos por su trato y amabilidad a la hora de realizar preguntas y solicitar información así como el aporte de sus conocimientos para realizar el proyecto.

Para finalizar, agradecer a mi tutor Antonio Miguel López Martínez por dirigirme el proyecto, asesorarme y confiar en mí en todo momento para su desarrollo.

13 BIBLIOGRAFIA

- [1] World Wildlife Fund. Study Forest Ablaze, Cause and effect of global forest fires [PDF]. Berlin: Peter Hirschberger, Octubre 2016
Disponible en: <<https://wwf.de/fileadmin/fm-wwf/Publikationen-PDF/WWF-Study-Forests-Ablaze.pdf>>
- [2] Univision. Varios incendios forestales arrasan zonas de Utah y Arizona de medio de la ola de calor. [En línea]. Arizona, Junio 2017
<<https://www.univision.com/arizona/ktvw/noticias/incendios/varios-incendios-forestales-arrasan-zonas-de-utah-y-arizona-en-medio-de-la-ola-de-calor>> [Consultado 24/01/2018]
- [3] La Vanguardia. Casi 70000 hectáreas de bosque arden en Siberia y lejano oriente ruso. [En línea]. Barcelona, Junio 2017
<<https://www.lavanguardia.com/vida/20170711/424062597230/casi-70000-hectareas-de-bosque-arden-en-siberia-y-el-lejano-oriente-rusos.html>> [Consultado 24/01/2018]
- [4] BBC. Portugal forest fires: Three days of mourning for 62 victims. [En línea]. Reino Unido, Junio 2017 <<https://www.bbc.com/news/world-europe-40320411>> [Consultado 24/01/2018]
- [5] El País. El incendio de Doñana se salda con 8.486 hectáreas quemadas. [En línea]. Sevilla: Ángeles Lucas, Junio 2017
<https://politica.elpais.com/politica/2017/06/28/actualidad/1498641888_695276.html> [Consultado 24/01/2018]
- [6] El País. Lo que se sabe de la ola de incendios que arrasa Galicia. [En línea]. Madrid: D.Muela, D.Almeda, J.Galán, Octubre 2017
<https://politica.elpais.com/politica/2017/10/16/actualidad/1508142860_569299.html> [Consultado 24/01/2018]
- [7] El País. Los incendios en Grecia, últimas noticias. [En línea]. Madrid, Julio 2018
<https://elpais.com/internacional/2018/07/26/actualidad/1532585842_007286.html> [Consultado 24/01/2018]
- [8] Europa Press. Los incendios forestales cuestan unos 400 millones de euros al año en Galicia. [En línea]. Octubre 2017 <<http://www.europapress.es/galicia/agro-00246/noticia-incendios-forestales-cuestan-400-millones-euros-ano-galicia-20171021110010.html>> [Consultado 24/01/2018]
- [9] GreenPeace. Incendios Forestales. [En línea] s.f <<https://es.greenpeace.org/es/trabajamos-en/bosques/incendios-forestales/>> [Consultado 30/01/2018]
- [10] Gobierno de España, La Moncloa. Aprobado el Plan de actuaciones contra los incendios forestales. [En línea]. Madrid, Junio 2017
<<http://www.lamoncloa.gob.es/consejodeministros/Paginas/enlaces/290617-enlaceincendios.aspx>> [Consultado 3/02/2018]

- [11] Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente. Acciones de prevención. [En línea] <<http://www.mapama.gob.es/es/desarrollo-rural/temas/politica-forestal/incendios-forestales/prevencion.aspx>> [Consultado 3/02/2018]
- [12] Guardia Civil. Servicio de Protección de la Naturaleza (SEPRONA). [En línea] <http://www.guardiacivil.es/es/institucional/Conocenos/especialidades/Medio_ambiente/index.html> [Consultado 3/02/2018]
- [13] Generalitat de Catalunya. Agentes Rurales. [En línea] s.f <<http://agricultura.gencat.cat/es/departament/agents-rurals/>> [Consultado 3/02/2018]
- [14] CIVIO. ¿Quién detecta los incendios? [En línea]. Juan Elosua, 2016 <<https://civio.es/espana-en-llamas/2016/11/24/quien-detecta-los-incendios/>> [Consultado 22/02/2018]
- [15] Eroski Consumer. Consecuencias ecológicas de los incendios forestales.[En línea]. Agosto 2011 <http://www.consumer.es/web/es/medio_ambiente/naturaleza/2009/08/27/187605.php> [Consultado 22/02/2018]
- [16] GreenPeace. Incendios Forestales, ¿Qué perdemos? [PDF]. GreenPeace, Octubre 2017 Disponible en: <<http://archivo-es.greenpeace.org/espana/Global/espana/report/other/incendios-forestales-que-per.pdf>>
- [17] El Diario. Pérdidas irreparables a fauna y flora por incendios forestales. [En línea]. Setiembre 2016 <http://www.eldiario.net/noticias/2016/2016_09/nt160904/nacional.php?n=33&-perdidas-irreparables-a-fauna-y-flora-por-incendios-forestales> [Consultado 22/02/2018]
- [18] Asociación profesional de Agentes Forestales de la Comunidad de Madrid. ¡Alerta con los fuegos! [En línea]. Junio 2018 <<http://www.agentesforestales.org/noticias/espana/1391-alerta-fuegos.html>> [Consultado 4/03/2018]
- [19] Robert S.Allison, Joshua M.Johnston, Gregory Craig y Sion Jennings. Airbone Optical and Thermal Remote Sensing for Wildfire Detection and Monitoring. [PDF] Agosto 2016 Disponible en: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5017475/>>
- [20] Ignacio Bosch, S.Gómez, Luis Vergara. A ground system for early forest fire detection based on infrared signal processing. International Journal of Remote Sensing.[PDF] Valencia, Julio 2011 Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/233299441_A_ground_system_for_early_forest_fire_detection_based_on_infrared_signal_processing>
- [21] Diputación de Barcelona. Parque Natural de la Sierra de Collserola. [En línea] s.f <<https://parcs.diba.cat/es/web/collserola>> [Consultado 15/03/2018]
- [22] SigFox. Sigfox, the world's leading IoT service provider. [En línea] s.f <<https://www.sigfox.com/en>> [Consultado 4/05/2018]
- [23] LoRa. LoRa Alliance. [En línea] s.f <<https://www.lora-alliance.org/>> [Consultado 4/05/2018]
- [24] Semtech. What is LoRa?. [En línea] s.f <<https://www.semtech.com/technology/lora>> [Consultado 4/05/2018]
- [25] Digi International. XBee. [En línea] s.f <<https://www.digi.com/xbee>> [Consultado 4/05/2018]

[26] Redes Telecom. Vodafone aspira a implantar más de 100.000 conexiones NB-IoT en España. [En línea]. Febrero 2018
<<http://www.redestelecom.es/infraestructuras/noticias/1103950001803/vodafone-aspira-implantar-mas-de-100000-conexiones-nb-iot-espana.1.html>> [Consultado 4/05/2018]

[27] Digi. ZigBee Wireless Mesh Networking. [En línea] s.f
<<https://www.digi.com/resources/standards-and-technologies/zigbee-wireless-standard>>
[Consultado 6/05/2018]

[28] Agudelo R et al. Modulación DSSS para transmisión de información aa través de líneas eléctricas de potencia. Colombia, Abril 2011
Disponible en <<http://www.redalyc.org/html/849/84921327002/index.html>>

[29] Shahin Farahani. ZigBee Wireless Networks and Transceivers. 4ª ed. Burlington (USA): Elsevier, 2008. ISBN: 978-0-7506-8393-7

[29] Electro Componentes. Tecnología ZigBee, un mundo de soluciones inalámbricas. [En línea] s.f <<http://www.electrocomponentes.com/articulos/diciembre06/zigbee.html>>
[Consultado 6/05/2018]

[30] Digi International. 2.4GHz Modules. [En línea] s.f
<<https://www.digi.com/products/xbee-rf-solutions/2-4-ghz-modules>> [Consultado 17/05/2018]

[31] LED Microsensor NT. Infrared Photodiode Standard Models. [En línea] s.f
<<http://lmsnt.com/pd/PDmodels/>> [Consultado 17/05/2018]

[32] Arduino. ¿Qué es Arduino? [En línea] s.f <<http://arduino.cl/que-es-arduino/>>
[Consultado 11/04/2018]

[33]Julen Iraceburu, Javier Goicoechea. Desarrollo e implementación de una red inalámbrica de sensores de temperatura y humedad. [PDF]. Pamplona, Junio 2014
Disponible en: <http://academica-e.unavarra.es/bitstream/handle/2454/11846/TFG_IraceburuGonzalezJulen2014.pdf?sequence=1>

[34] Digi International. XBee/XBee.PRO DigiMesh 2.4 User Guide. [PDF]. Mayo 2018
Disponible en: <<https://www.digi.com/resources/documentation/digidocs/pdfs/90000991.pdf>>

[35] Home automation community. Arduino low power- How to run ATMEGA328P for a year on coin cell battery. [En línea] Febrero 2018 <<http://www.home-automation-community.com/arduino-low-power-how-to-run-atmega328p-for-a-year-on-coin-cell-battery/>>
[Consultado 22/05/2018]

[36] EasyEDA. Simulador de circuitos y diseño de circuitos impresos. [En línea] s.f
<<https://easyeda.com/>> [Consultado 11/06/2018]

[37] MathWorks. Matlab. [En línea] s.f <<https://www.mathworks.com/products/matlab.html>>
[Consultado 11/05/2018]

ANEXO 1

DATASHEET DE LOS COMPONENTES



EMBEDDED RF
MODULES FOR OEM

DIGI XBEE® S1 802.15.4 RF MODULES

Easy-to-deploy modules provide critical end-point connectivity to devices and sensors

Digi XBee RF modules provide OEMs with a common footprint shared by multiple platforms, including multipoint and ZigBee/Mesh topologies, and both 2.4 GHz and 900 MHz solutions. OEMs deploying the Digi XBee can substitute one Digi XBee for another, depending upon dynamic application needs, with minimal development, reduced risk and shorter time-to-market.

Digi XBee 802.15.4 RF modules are ideal for applications requiring low latency and predictable communication timing. Providing quick, robust communication in point-to-point, peer-to-peer, and multipoint/star configurations, Digi XBee

802.15.4 products enable robust end-point connectivity with ease. Whether deployed as a pure cable replacement for simple serial communication, or as part of a more complex hub-and-spoke network of sensors, Digi XBee 802.15.4 RF modules maximize performance and ease of development.

Digi XBee 802.15.4 modules seamlessly interface with compatible gateways, device adapters and range extenders, providing developers with true beyond-the-horizon connectivity.

BENEFITS

- Simple, out-of-the-box RF communications, no configuration needed
- Point-to-multipoint network topology
- 2.4 GHz for worldwide deployment
- Common Digi XBee footprint for a variety of RF modules
- Low-power sleep modes
- Multiple antenna options

RELATED PRODUCTS



ConnectPort®
X4/X4H Gateways



Digi XBee®
Adapters



XCTU

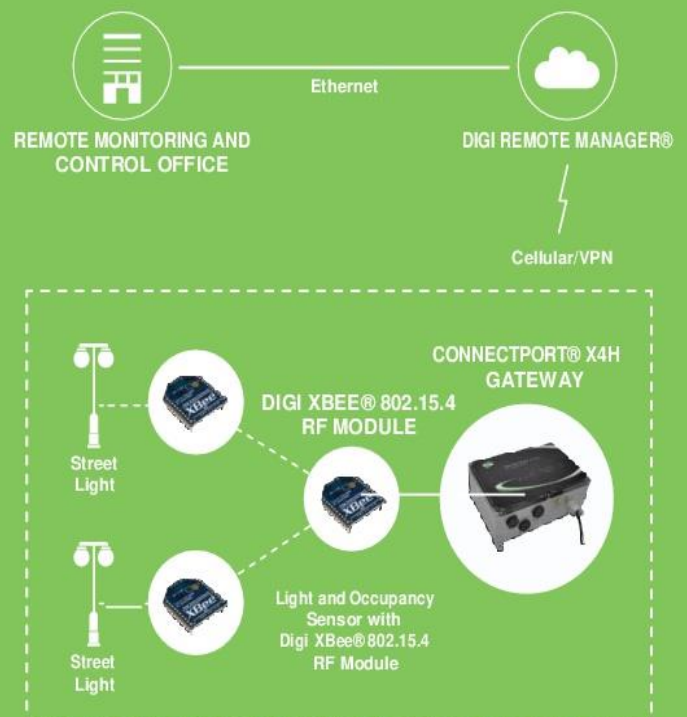


DigiRemote
Manager®



Development
Kits

APPLICATION EXAMPLE



SPECIFICATIONS

Legacy Digi XBee® S1 802.15.4

| Legacy Digi XBee-PRO® S1 802.15.4

PERFORMANCE

RF DATA RATE	250 kbps	250 kbps
INDOOR/URBAN RANGE	100 ft (30 m)	300 ft (100 m)
OUTDOOR/RF LINE-OF-SIGHT RANGE	300 ft (100 m)	1 mi (1.6 km)
TRANSMIT POWER	1 mW (+0 dBm)	60 mW (+18 dBm)*
RECEIVER SENSITIVITY (1% PER)	-92 dBm	-100 dBm
DIGI HARDWARE	S1	
TRANSCEIVER CHIPSET	Freescale MC13212	

FEATURES

SERIAL DATA INTERFACE	3.3V CMOS UART
CONFIGURATION METHOD	API or AT Commands, local or over-the-air
FREQUENCY BAND	2.4 GHz
INTERFERENCE IMMUNITY	DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum)
SERIAL DATA RATE	1200 bps - 250 kbps
ADC INPUTS	(6) 10-bit ADC inputs
DIGITAL I/O	8
ANTENNA OPTIONS	Chip, Wire Whip, U.FL, & RPSMA

NETWORKING & SECURITY

ENCRYPTION	128-bit AES
RELIABLE PACKET DELIVERY	Retries/Acknowledgments
IDS AND CHANNELS	PAN ID, 64-bit IEEE MAC, 16 Channels

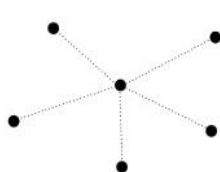
POWER REQUIREMENTS

SUPPLY VOLTAGE	2.8 - 3.4VDC	2.8 - 3.4VDC
TRANSMIT CURRENT MAX	45 mA @ 3.3VDC	215 mA @ 3.3VDC
RECEIVE CURRENT MAX	50 mA @ 3.3VDC	55 mA @ 3.3VDC
POWER-DOWN CURRENT	<10 uA @ 25° C	

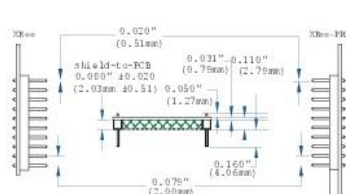
REGULATORY APPROVALS

FCC (USA)	OUR-Digi XBee	OUR-Digi XBeePRO
IC (CANADA)	4214A-Digi XBee	4214A-Digi XBeePRO
ETSI (EUROPE)	Yes	Yes - Max TX 10 mW
C-TICK AUSTRALIA	Yes	
TELEC (JAPAN)	Yes	

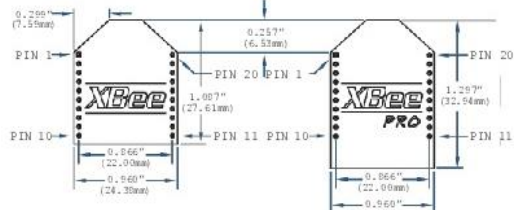
802.15.4 - Star



(Side Views)



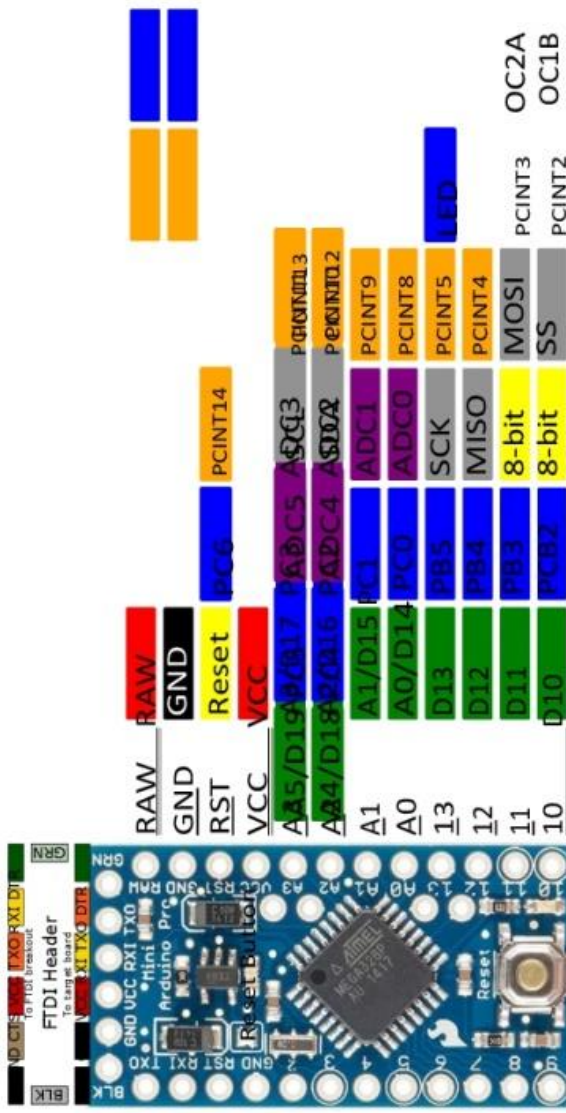
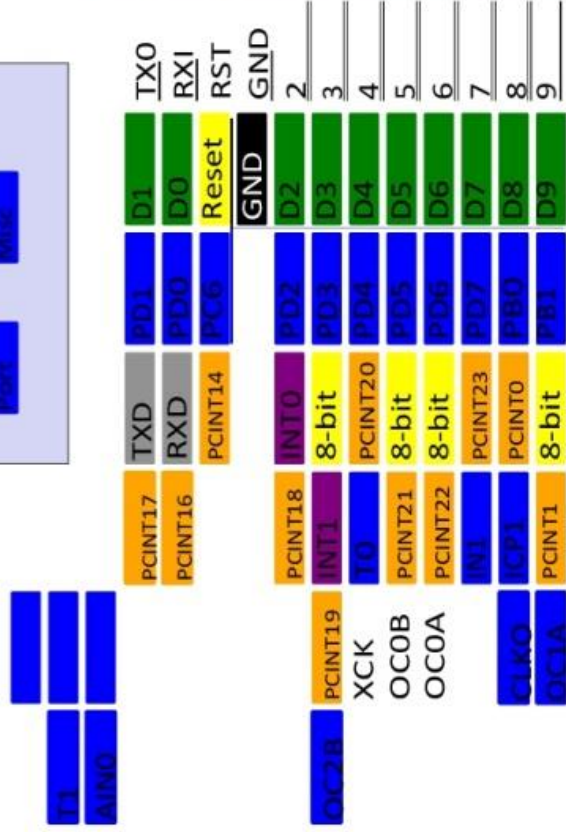
(Top View)



Arduino Pro Mini

Programmed as Arduino Pro Mini w/ ATmega328
8MHz/ 3.3V

Name	
Power	
GND	
Control	
Arduino	
PC	
ADC	
PWM	
Serial	
Ext Interrupt	
PC Interrupt	
Wire	



A5
A4

A7
A6

Power
Raw: 3.3V-16V
VCC: 3.3V
Maximum current: 150mA@3.3V

ATMega328P
Absolute maximum VCC: 6V
Maximum current for chip: 200mA
Maximum current per pin: 40mA
Recommended current per pin: 20mA
8-bit Atmel AVR
Flash Program Memory: 32kB
EEPROM: 1kB
Internal SRAM 2kB
ADC: 10-bit
PWM: 8bit

LEDs
Power: Red
User (D13): Green

TMP35/TMP36/TMP37

FEATURES

- Low voltage operation (2.7V to 5.5V)
- Calibrated directly in °C
- 10mV/°C scale factor (20mV/°C on TMP37)
- ±2°C accuracy over temperature (typ)
- ±0.5°C linearity (typ)
- Stable with large capacitive loads
- Specified -40°C to +125°C, operation to +150°C
- Less than 50 µA quiescent current
- Shutdown current 0.5 µA max
- Low self-heating

APPLICATIONS

- Environmental control systems
- Thermal protection
- Industrial process control
- Fire alarms
- Power system monitors
- CPU thermal management

GENERAL DESCRIPTION

The TMP35/TMP36/TMP37 are low voltage, precision centigrade temperature sensors. They provide a voltage output that is linearly proportional to the Celsius (centigrade) temperature. The TMP35/TMP36/TMP37 do not require any external calibration to provide typical accuracies of ±1°C at +25°C and ±2°C over the -40°C to +125°C temperature range.

The low output impedance of the TMP35/TMP36/TMP37 and its linear output and precise calibration simplify interfacing to temperature control circuitry and ADCs. All three devices are intended for single-supply operation from 2.7 V to 5.5 V maximum. The supply current runs well below 50 µA, providing very low self-heating—less than 0.1°C in still air. In addition, a shutdown function is provided to cut the supply current to less than 0.5 µA.

The TMP35 is functionally compatible with the LM35/LM45 and provides a 250 mV output at 25°C. The TMP35 reads temperatures from 10°C to 125°C. The TMP36 is specified from -40°C to +125°C, provides a 750 mV output at 25°C, and operates to 125°C from a single 2.7 V supply. The TMP36 is functionally compatible with the LM50. Both the TMP35 and TMP36 have an output scale factor of 10 mV/°C.

FUNCTIONAL BLOCK DIAGRAM

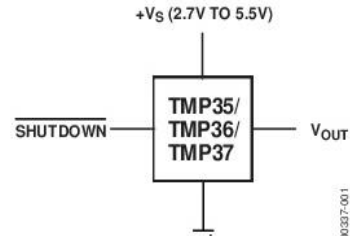


Figure 1.

PIN CONFIGURATIONS

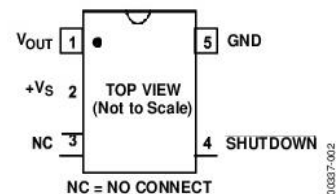


Figure 2. R-5 (SOT-23)

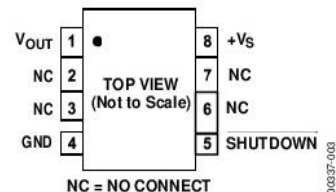


Figure 3. R-8 (SOIC_N)

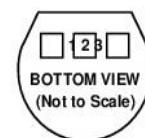


Figure 4. T-3 (TO-92)

The TMP37 is intended for applications over the range of 5°C to 100°C and provides an output scale factor of 20 mV/°C. The TMP37 provides a 500 mV output at 25°C. Operation extends to 150°C with reduced accuracy for all devices when operating from a 5 V supply.

The TMP35/TMP36/TMP37 are available in low cost 3-lead TO-92, 8-lead SOIC_N, and 5-lead SOT-23 surface-mount packages.

Rev. E

Information furnished by Analog Devices is believed to be accurate and reliable. However, no responsibility is assumed by Analog Devices for its use, nor for any infringement of patents or other rights of third parties that may result from its use. Specifications subject to change without notice. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of Analog Devices. Trademarks and registered trademarks are the property of their respective owners.

One Technology Way, P.O. Box 9106, Norwood, MA 02062-9106, U.S.A.
Tel: 781.329.4700 www.analog.com
Fax: 781.461.3113 ©1996–2008 Analog Devices, Inc. All rights reserved.

TMP35/TMP36/TMP37

SPECIFICATIONS

$V_S = 2.7\text{ V to }5.5\text{ V}$, $-40^\circ\text{C} \leq T_A \leq +125^\circ\text{C}$, unless otherwise noted.

Table 1.

Parameter ¹	Symbol	Test Conditions/Comments	Min	Typ	Max	Unit
ACCURACY						
TMP35/TMP36/TMP37 (F Grade)		$T_A = 25^\circ\text{C}$		± 1	± 2	$^\circ\text{C}$
TMP35/TMP36/TMP37 (G Grade)		$T_A = 25^\circ\text{C}$		± 1	± 3	$^\circ\text{C}$
TMP35/TMP36/TMP37 (F Grade)		Over rated temperature		± 2	± 3	$^\circ\text{C}$
TMP35/TMP36/TMP37 (G Grade)		Over rated temperature		± 2	± 4	$^\circ\text{C}$
Scale Factor, TMP35		$10^\circ\text{C} \leq T_A \leq 125^\circ\text{C}$		10		$\text{mV}/^\circ\text{C}$
Scale Factor, TMP36		$-40^\circ\text{C} \leq T_A \leq +125^\circ\text{C}$		10		$\text{mV}/^\circ\text{C}$
Scale Factor, TMP37		$5^\circ\text{C} \leq T_A \leq 85^\circ\text{C}$		20		$\text{mV}/^\circ\text{C}$
		$5^\circ\text{C} \leq T_A \leq 100^\circ\text{C}$		20		$\text{mV}/^\circ\text{C}$
		$3.0\text{ V} \leq V_S \leq 5.5\text{ V}$				
Load Regulation		$0\text{ }\mu\text{A} \leq I_L \leq 50\text{ }\mu\text{A}$				
		$-40^\circ\text{C} \leq T_A \leq +105^\circ\text{C}$		6	20	$\text{m}^\circ\text{C}/\mu\text{A}$
		$-105^\circ\text{C} \leq T_A \leq +125^\circ\text{C}$		25	60	$\text{m}^\circ\text{C}/\mu\text{A}$
Power Supply Rejection Ratio	PSRR	$T_A = 25^\circ\text{C}$		30	100	$\text{m}^\circ\text{C}/\text{V}$
		$3.0\text{ V} \leq V_S \leq 5.5\text{ V}$		50		$\text{m}^\circ\text{C}/\text{V}$
Linearity				0.5		$^\circ\text{C}$
Long-Term Stability		$T_A = 150^\circ\text{C}$ for 1 kHz		0.4		$^\circ\text{C}$
SHUTDOWN						
Logic High Input Voltage	V_{IH}	$V_S = 2.7\text{ V}$	1.8			V
Logic Low Input Voltage	V_{IL}	$V_S = 5.5\text{ V}$			400	mV
OUTPUT						
TMP35 Output Voltage		$T_A = 25^\circ\text{C}$		250		mV
TMP36 Output Voltage		$T_A = 25^\circ\text{C}$		750		mV
TMP37 Output Voltage		$T_A = 25^\circ\text{C}$		500		mV
Output Voltage Range			100		2000	mV
Output Load Current	I_L		0		50	μA
Short-Circuit Current	I_{SC}	Note 2			250	μA
Capacitive Load Driving	C_L	No oscillations ²	1000	10000		pF
Device Turn-On Time		Output within $\pm 1^\circ\text{C}$, 100 k Ω 100 pF load ²		0.5	1	ms
POWER SUPPLY						
Supply Range	V_S		2.7		5.5	V
Supply Current	I_{SY} (ON)	Unloaded			50	μA
Supply Current (Shutdown)	I_{SY} (OFF)	Unloaded		0.01	0.5	μA

¹ Does not consider errors caused by self-heating.

² Guaranteed but not tested.

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Table 2.

Parameter ^{1, 2}	Rating
Supply Voltage	7V
Shutdown Pin	$GND \leq SHUTDOWN \leq +V_S$
Output Pin	$GND \leq V_{OUT} \leq +V_S$
Operating Temperature Range	-55°C to +150°C
Die Junction Temperature	175°C
Storage Temperature Range	-65°C to +160°C
IR Reflow Soldering	
Peak Temperature	220°C (0°C/5°C)
Time at Peak Temperature Range	10 sec to 20 sec
Ramp-Up Rate	3°C/sec
Ramp-Down Rate	-6°C/sec
Time 25°C to Peak Temperature	6 min
IR Reflow Soldering—Pb-Free Package	
Peak Temperature	260°C (0°C)
Time at Peak Temperature Range	20 sec to 40 sec
Ramp-Up Rate	3°C/sec
Ramp-Down Rate	-6°C/sec
Time 25°C to Peak Temperature	8 min

¹ Digital inputs are protected; however, permanent damage can occur on unprotected units from high energy electrostatic fields. Keep units in conductive foam or packaging at all times until ready to use. Use proper antistatic handling procedures.

² Remove power before inserting or removing units from their sockets.

Stresses above those listed under Absolute Maximum Ratings may cause permanent damage to the device. This is a stress rating only; functional operation of the device at these or any other conditions above those indicated in the operational section of this specification is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

THERMAL RESISTANCE

θ_{JA} is specified for the worst-case conditions, that is, a device in socket.

Table 3. Thermal Resistance

Package Type	θ_{JA}	θ_{JC}	Unit
TO-92 (T-3)	162	120	°C/W
SOIC_N (R-8)	158	43	°C/W
SOT-23 (RJ-5)	300	180	°C/W

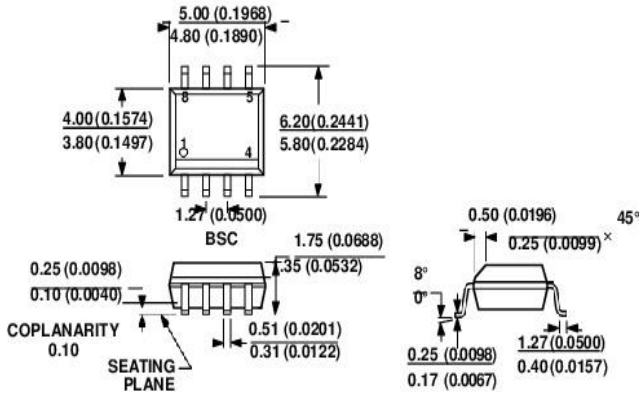
ESD CAUTION



ESD (electrostatic discharge) sensitive device. Charged devices and circuit boards can discharge without detection. Although this product features patented or proprietary protection circuitry, damage may occur on devices subjected to high energy ESD. Therefore, proper ESD precautions should be taken to avoid performance degradation or loss of functionality.

TMP35/TMP36/TMP37

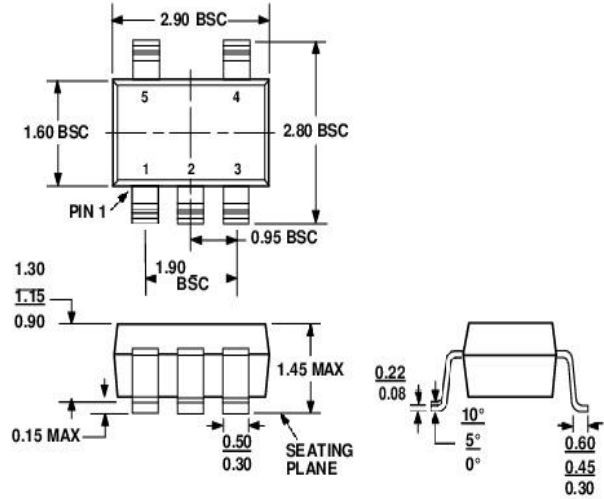
OUTLINE DIMENSIONS



COMPLIANT TO JEDEC STANDARDS MS-012-A A
CONTROLLING DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS; INCH DIMENSIONS (IN PARENTHESES) ARE ROUNDED-OFF MILLIMETER EQUIVALENTS FOR REFERENCE ONLY AND ARE NOT APPROPRIATE FOR USE IN DESIGN.

Figure 36. 8-Lead Standard Small Outline Package [SOIC_N]
Narrow Body
(R-8)

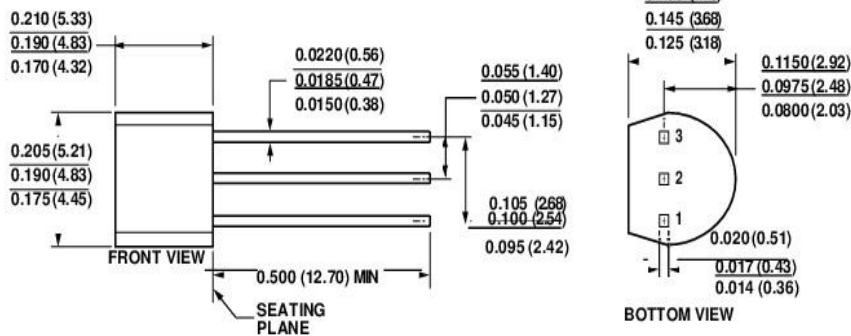
Dimensions shown in millimeters and (inches)



COMPLIANT TO JEDEC STANDARDS MO-178-A A

Figure 37. 5-Lead Small Outline Transistor Package [SOT-23]
(RJ-5)

Dimensions shown in millimeters



COMPLIANT TO JEDEC STANDARDS TO-226-AA
CONTROLLING DIMENSIONS ARE IN INCHES; MILLIMETER DIMENSIONS (IN PARENTHESES) ARE ROUNDED-OFF EQUIVALENTS FOR REFERENCE ONLY AND ARE NOT APPROPRIATE FOR USE IN DESIGN.

Figure 38. 3-Pin Plastic Header-Style Package [TO-92]
(T-3)

Dimensions shown in inches and (millimeters)

0422019-A

HIH-5030/5031 Series

Low Voltage Humidity Sensors



DESCRIPTION

The HIH-5030/5031 Series Low Voltage Humidity Sensors operate down to 2.7 Vdc, often ideal in battery-powered systems where the supply is a nominal 3 Vdc.

The HIH 5030/5031 complements our existing line of 5 Vdc SMD (Surface Mount Device) humidity sensors. SMD packaging on tape and reel allows for use in high volume, automated pick and place manufacturing, eliminating lead misalignment to printed circuit board through-holes.

The HIH-5030/5031 Series Humidity Sensors are designed specifically for high volume OEM (Original Equipment Manufacturer) users.

Direct input to a controller or other device is made possible by this sensor's near linear voltage output. With a typical current draw of only 200 μ A, the HIH-5030/5031 Series is ideally suited for many low drain, battery operated systems.

Tight sensor interchangeability reduces or eliminates OEM production calibration costs.

The HIH-5030/5031 Series delivers instrumentation-quality RH (Relative Humidity) sensing performance in a competitively priced, solderable SMD.

The HIH-5030 is a covered integrated circuit humidity sensor. The HIH-5031 is a covered, condensation-resistant, integrated circuit humidity sensor that is factory-fitted with a hydrophobic filter allowing it to be used in many condensing environments including industrial, medical and commercial applications.

The RH sensor uses a laser trimmed, thermoset polymer capacitive sensing element with on-chip integrated signal conditioning.

The sensing element's multilayer construction provides excellent resistance to most application hazards such as condensation, dust, dirt, oils and common environmental chemicals.

Sample packs are available. See order guide.

FEATURES

- Operates down to 2.7 Vdc, often ideal in battery-powered systems where the supply is a nominal 3 Vdc.
- Tape and reel packaging allows for use in high volume pick and place manufacturing (1,000 units per tape and reel)
- Molded thermoset plastic housing
- Near linear voltage output vs %RH
- Laser trimmed interchangeability
- Low power design
- Enhanced accuracy
- Fast response time
- Stable, low drift performance
- Chemically resistant

POTENTIAL APPLICATIONS

Industrial

- Air compressors
- Battery-powered systems
- Drying equipment
- HVAC (includes air conditioning, air movement, thermostats, humidifiers, de-humidifiers, humidistats, enthalpy sensing)
- OEM assemblies
- Office automation equipment
- Process equipment
- Refrigeration (includes bulk and transport systems)
- Telecommunications cabinets
- Weather stations and meteorology equipment

Medical

- Hospital air compressors
- Infant incubators
- Microenvironments
- Sleep apnea equipment
- Treadmill stress monitoring equipment

HIH-5030/5031 Series

Table 1. Performance Specifications (At 3.3 Vdc supply and 25 °C [77 °F] unless otherwise noted.)

Parameter	Minimum	Typical	Maximum	Unit	Specific Note
Interchangeability (first order curve)					
0% RH to 10% RH, 90% RH to 100% RH	-7	—	7	% RH	—
11% RH to 89% RH	-3	—	3	% RH	—
Accuracy (best fit straight line) 11% RH to 89% RH	-3	—	+3	% RH	4
Hysteresis	—	2	—	% RH	—
Repeatability	—	±0.5	—	% RH	—
Settling time	—	—	70	ms	—
Response time (1/e in slow moving air)	—	5	—	s	—
Stability (at 50% RH in 5 years)	—	±1.2	—	% RH	1
Voltage supply	2.7	—	5.5	Vdc	2
Current supply	—	200	500	µA	—
Voltage output (1st order curve fit)	$V_{OUT} = (V_{SUPPLY})(0.00636(\text{sensor RH}) + 0.1515)$, typical at 25 °C				
Temperature compensation	True RH = (Sensor RH)/(1.0546 – 0.00216T), T in °C				
Output voltage temp. coefficient at 50% RH, 3.3 V	—	-2	—	mV/°C	—
Operating temperature	-40[-40]	See Figure 2.	85[185]	°C[°F]	—
Operating humidity (HIH-5030)	0	See Figure 2.	100	% RH	3
Operating humidity (HIH-5031)	0	See Figure 2.	100	% RH	—
Storage temperature	-50[-58]	—	125[257]	°C [°F]	—
Storage humidity	See Figure 3.			% RH	3

Specific Notes:

1. Includes stress outside of recommended operating zone.
2. Device is tested at 3.3 Vdc and 25 °C.
3. Non-condensing environment. When liquid water falls on the humidity sensor die, output goes to a low rail condition indicating no humidity.
4. Total accuracy including interchangeability is ±3 %RH.

General Notes:

- Sensor is ratiometric to supply voltage.
- Extended exposure to ≥90 % RH causes a reversible shift of 3 % RH.
- Sensor is light sensitive. For best performance, shield sensor from bright light.



Low Voltage Humidity Sensors

Figure 7. HIH-5031 Mounting Dimensions (For reference only. mm/[in])

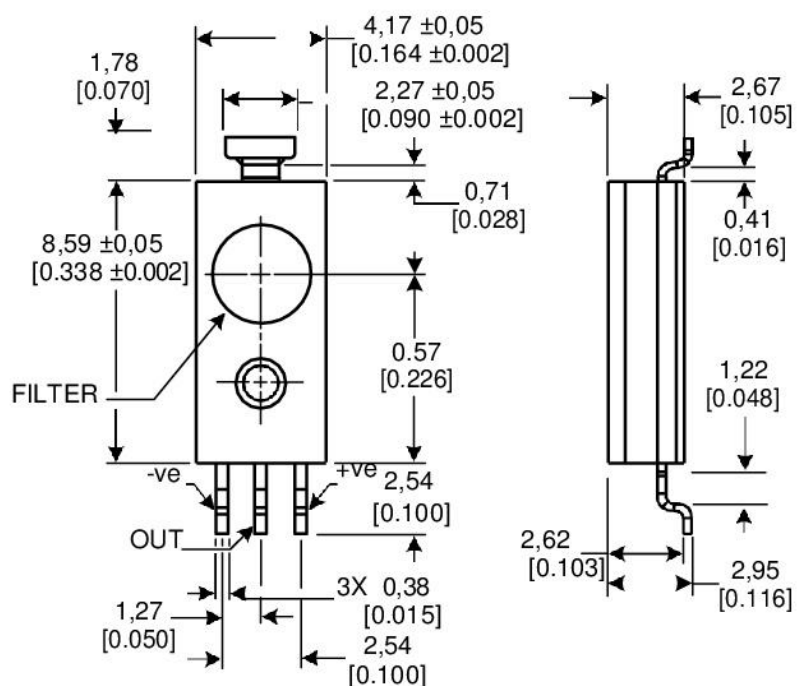
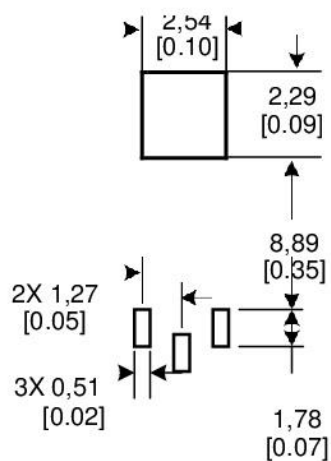


Figure 8. HIH-5031 PCB Landing Pattern (For reference only. mm/[in])



Infrared Array Sensor

Grid-EYE



High Precision Infrared Array Sensor based on Advanced MEMS Technology

Features

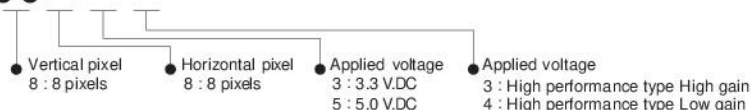
- Temperature detection of two-dimensional area: 8 × 8 (64 pixels)
- Digital output (capability of temperature value output)
- Compact SMD package (adaptively to reflow mounting)
- RoHS compliant

Typical applications

- High function home appliances (microwaves and air-conditioners)
- Energy saving at office (air-conditioning/lighting control)
- Digital signage
- Automatic doors/elevators

Ordering information

AMG 8 8



Types

Tape and reel package : 1,000 pcs.

Product name	Number of pixel	Operating voltage	Amplification factor	Part number
Infrared array sensor Grid-EYE High performance type	64 (Vertical 8 × Horizontal 8 Matrix)	3.3 V.DC	High performance type High gain	AMG8833
			High performance type Low gain	AMG8834
		5.0 V.DC	High performance type High gain	AMG8853
			High performance type Low gain	AMG8854

Rating

Performance

Item		
Applied voltage	3.3 V.DC±0.3 V.DC or 5.0 V.DC±0.5 V.DC	
Temperature range of measuring object	0 °C to 80 °C +32 °F to +176 °F	-20 °C to 100 °C -4 °F to +212 °F
Operating temperature range	0 °C to 80 °C +32 °F to +176 °F	-20 °C to 80 °C -4 °F to +176 °F
Storage temperature range	-20 °C to 80 °C -4 °F to +176 °F	-20 °C to 80 °C -4 °F to +176 °F

Absolute maximum ratings		
Item	Absolute maximum ratings	Terminal
Applied voltage	-0.3 V.DC to 6.5 V.DC	VDD
Input voltage	-0.3 V.DC to VDD +0.3 V.DC	SCL, SDA, AD_SELECT
Output sink current	-10 mA to 10 mA	INT, SDA
Static electricity (Human body model)	1 kV	All terminals
Static electricity (Machine model)	200 V	All terminals

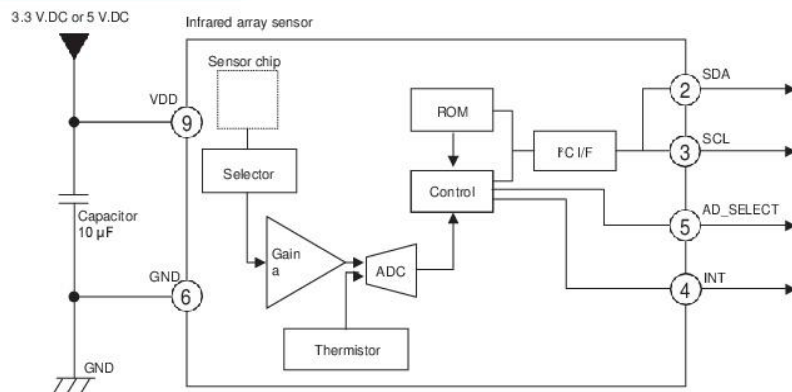
Characteristics		
Item	Performance	
	High performance type High gain	High performance type Low gain
Temperature accuracy	Typical $\pm 2.5^{\circ}\text{C}$ $\pm 4.5^{\circ}\text{F}$	Typical $\pm 3.0^{\circ}\text{C}$ $\pm 5.4^{\circ}\text{F}$
Human detection distance *1	7 m or less (reference value) 22.966 ft	
NETD *2	Typ. 0.05°C 32.900 $^{\circ}\text{F}$ 1 Hz Typ. 0.16°C 32.288 $^{\circ}\text{F}$ 10 Hz	
Viewing angle	Typical 60°	
Optical axis gap	Within Typical $\pm 5.6^{\circ}$	
Current consumption	Typical 4.5 mA (normal mode) Typical 0.2 mA (sleep mode) Typical 0.8 mA (stand-by mode)	
Setup time	Typical 50 ms (Time to enable communication after setup) Typical 15 s (Time to stabilize output after setup)	

Note: *1 To have more than 4°C 7.2°F of temperature difference from background
Detection object size: $700 \times 250 \text{ mm}$ $27.559 \times 9.843 \text{ inch}$ (Assumable human body size)
*2 It is calculated from 4 pixels of centers.

Performance	
Item	Performance
Number of pixel	64 (Vertical 8 \times Horizontal 8 Matrix)
External interface	I ² C (fast mode)
Frame rate	Typical 10 frames/sec or 1 frame/sec
Operating mode *1	Normal Sleep Stand-by (10 sec or 60 sec intermittence)
Output mode	Temperature output
Calculate mode	No moving average or Twice moving average
Temperature output resolution	0.25°C 32.45°F
Number of sensor address	2 (I ² C slave address)
Thermistor output temperature range	-20°C to 80°C -4°F to $+176^{\circ}\text{F}$
Thermistor output resolution	0.0625°C 32.1125°F

Note: *1 Normal Mode : normal operation mode; Sleep Mode: detection is off (output and data reading not possible); Standby Mode: 1 frame measuring intermittently every 10 or 60 sec.

Internal circuit

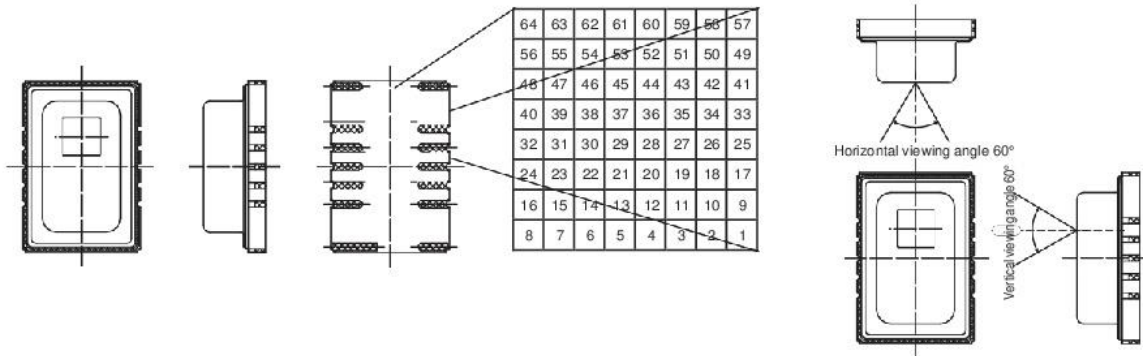


* INT terminal 4 normally has same voltage as VDD. When interrupting, same as GND (0V)

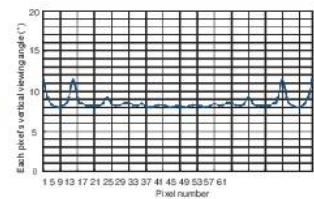
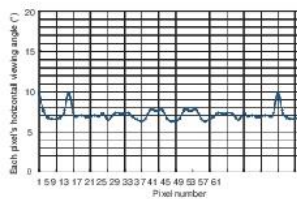
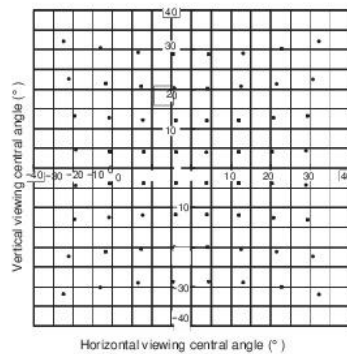
Pixel array and viewing field

- (1) Pixel array
Pixel array from 1 to 64 is shown below.

- (2) Viewing field
Sensor viewing field (typical) is shown below.

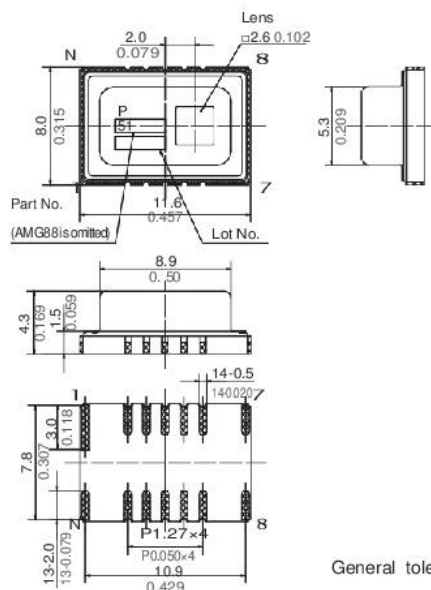


(1) Pixel array (2) Sensor viewing field (typical)



Dimensions

External dimensions

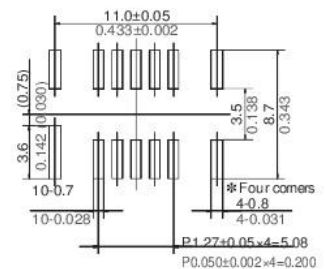


General tolerance : $\pm 0.2 \pm 0.08$

Recommended PC board pad

Number	Terminal Name	Number	Terminal Name
1	NC	8	NC
2	SDA	9	VDD
3	SCL	J	AVDD-PC
4	INT	K	NC
5	AD_SELECT	L	DVDD-PC
6	GND	M	VPP
7	NC	N	NC

Note : Leave terminal "NC (No. 1,7,8,K and N)" unconnected.
Make electrical potential of terminals 9 and M the same.



unit : mm inch

LITHIUM BATTERY

PCL9003
3.6V 14500mAh

Primary lithium batteries

3.6V Primary lithium-thionyl chloride (Li-SOCl₂) high power type
D -size spiral cell

ER34615M

Cell size references (UM1 - R20 - D)

Electrical characteristics

(typical values relative to cells stored for one year or less at +30°C max.)

Nominal capacity	14.5Ah
(at 10mA +20°C 2.0V cut off. The capacity restored by the cell varies according to current drain, temperature and cut off).	
Open circuit voltage (at +20°C)	3.66V
Nominal voltage (at 10mA+20°C)	3.6V
Max.Continuous current	2000mA
Max.Pulse current	3000mA

Pulse capability: Typically up to 3000mA (3000mA/0.1 second pulses, drained every 2mn at +20°C from undischarged cells with 10 A base current, yield voltage readings above 3.0V. The readings may vary according to the pulse characteristics, the temperature, and the cell's previous history. Fitting the cell with a capacitor may be recommended in severe conditions.

Storage (recommended)	+30°C (+86 F) max
(for more severe conditions)	

Operating temperature range	-55°C +85°C
(Operation above ambient T may lead to reduced capacity and lower voltage readings at the beginning of pulses)	(-76 F / +185 F)

Physical characteristics

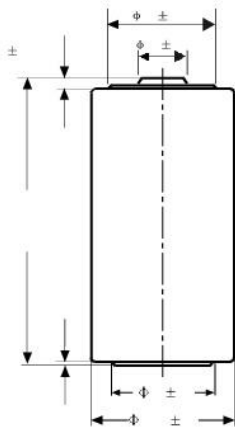
Diameter(max)	34.0mm
Height(max)	61.5mm
Typical weight	107.0g
Available termination suffix	radial tabs, radial pins, axial leads, leads flying (T/AX/P/PT)

Key Features

- Stainless steel container
- High and stable operating voltage
- Superior discharge rate (less than 1% after 1 year of storage at +20°C)
- Hermetic glass-to-metal sealing
- Compliant with IEC 86-4 safety standard

Main applications

- AMR utility meters
- Memory back-up
- Automotive devices
- Deep hole drilling
- RFID devices
- Electronic toll tags
- GPS emergency locators
- Animal tracking
- Asset/container tracking
- Vehicle tracking
- House arrest systems
- Medical devices
- Wireless security(PIR)
- Oceanographic buoys
- Military electronics
- Industrial instruments



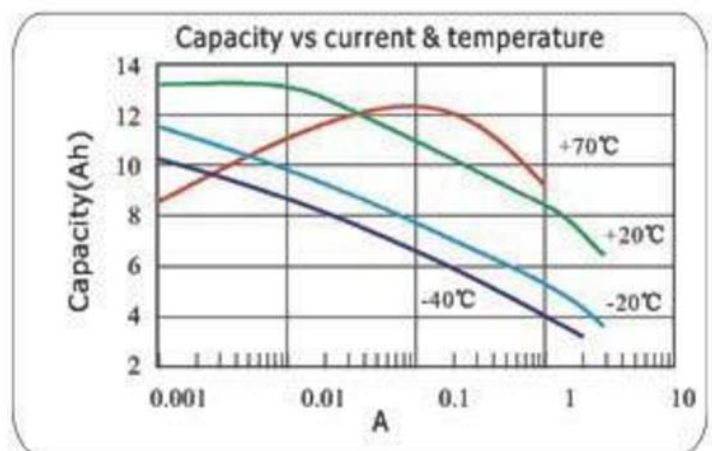
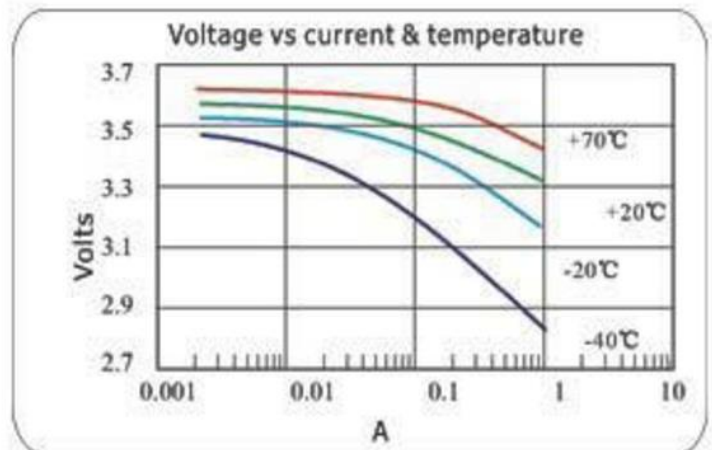
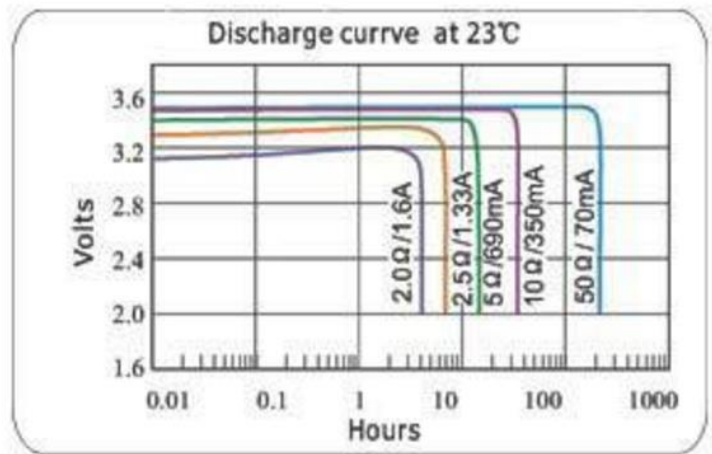
Unit:mm

Storage

The storage are a should be clean,
Cool (not exceeding +30°C),dry
And ventilated.

Warning

- Do not use if the battery casing was mangled.
- Do not recharge, short circuit,crush, disassemble, heat above 100°C (212°F),incinerate or expose contents or water.
- Do not solder directly to the cell (use tabbed cell versions instead)



ELECTRICAL CHARACTERISTICS OF THE RESETTABLE FUSE

ITEM		VALUE
R_{25} Internal contact resistance		35 ~ 60m Ω
I_{hold}	25°C	2.0A
	60°C	1.0A
I_{trip}	25°C	4.0A
	60°C	2.0A
Max. Time to trip 25°C 7,5A		5S

ANEXO 2

CÁLCULO CONSUMO DE CORRIENTE DE LOS MÓDULOS Y DIMENSIONADO DE LA BATERÍA

CONSUMO DE CORRIENTE DE CADA COMPONENTE

	Consumo (ON) [mA]	Consumo (OFF) [mA]
Xbee	60	0,04
Arduino	3,58	0,0045
TMP36	0,05	0
HIH5031	0,2	0
AMG8833	4,5	0
Total	68,33	0,0445

DURACIÓN BATERÍA LITIO ER34615M

	CASO 1	CASO 2	CASO 3	CASO 4	CASO 5	CASO 6	CASO 7	CASO 8	CASO 9
Capacidad de la pila (mAh)	14000	14000	14000	14000	14000	14000	14000	14000	14000
TON (XBEE) (s)	2	2	2	2,5	2,5	2,5	3	3	3
TOFF (XBEE) (s)	180	240	300	180	240	300	180	240	300
Corriente ON (mA)	68,33	68,33	68,33	68,33	68,33	68,33	68,33	68,33	68,33
corriente OFF (mA)	0,0445	0,0445	0,0445	0,0445	0,0445	0,0445	0,0445	0,0445	0,0445
Consumo medio (mA)	0,79489011	0,60884298	0,49672185	0,97991781	0,74847423	0,60884298	1,16393443	0,88753086	0,72059406
Duración de la batería									
meses	22	28	35	17	23	28	15	19	24
días	0	22	6	25	11	22	1	21	8
horas	11	6	22	18	10	6	1	12	13
minutos	14	59	18	13	14	59	21	41	34

ANEXO 3

ESTUDIO DEL SENSOR INFRARROJO AMG8833

ÁNGULO DE DETECCIÓN EN LA SUPERFICIE DEL SUELO

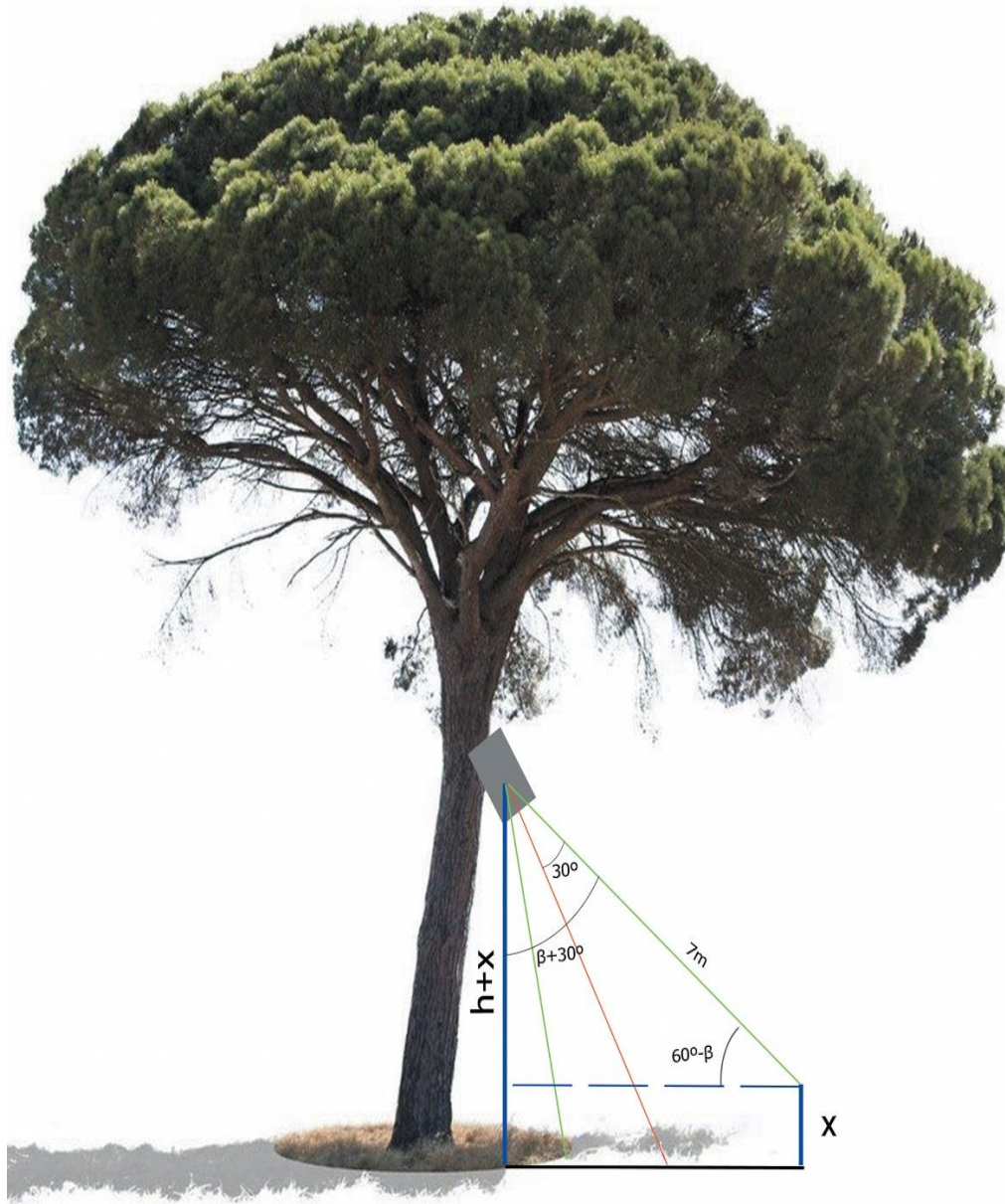
El objetivo es cubrir la zona de la superficie del suelo máxima mediante el sensor AMG8833. Por lo tanto, en función de la altura, comprendida entre 0,5m y 3m, el ángulo de máxima área de detección varía de la siguiente manera:



$$\beta = 60 - \sin^{-1} \frac{h}{7}$$

ÁREA DE DETECCIÓN CON UNA CIERTA ALTURA

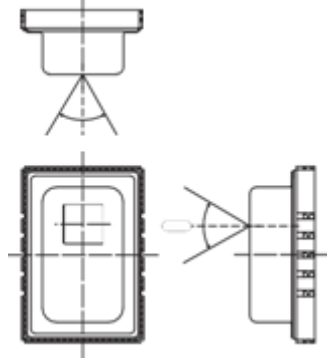
El alcance del sensor AMG8833 es de 7m. Si se pretende detectar una zona más amplia que la del suelo a una altura “h”, el ángulo de instalación ha de ser superior y habrá que fijar una altura “x” la cual es la altura a la cual los pixeles superiores del sensor detectarían. A continuación veremos el ángulo necesario.



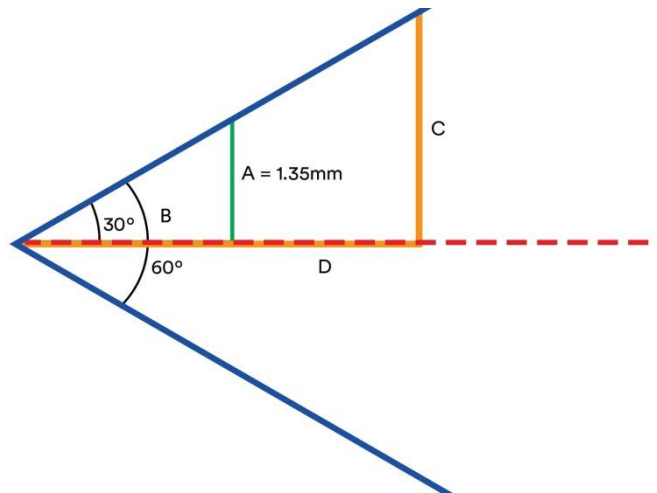
$$\beta = 60 - \sin^{-1} \frac{h-x}{7}$$

SUPERFICIE DE DETECCIÓN

El ángulo de visión del sensor es de 60° y la medida de la óptica es de 2,7 mm



Aplicando el teorema de Tales, podemos saber cual es el área de detección de los 64 pixels del sensor.

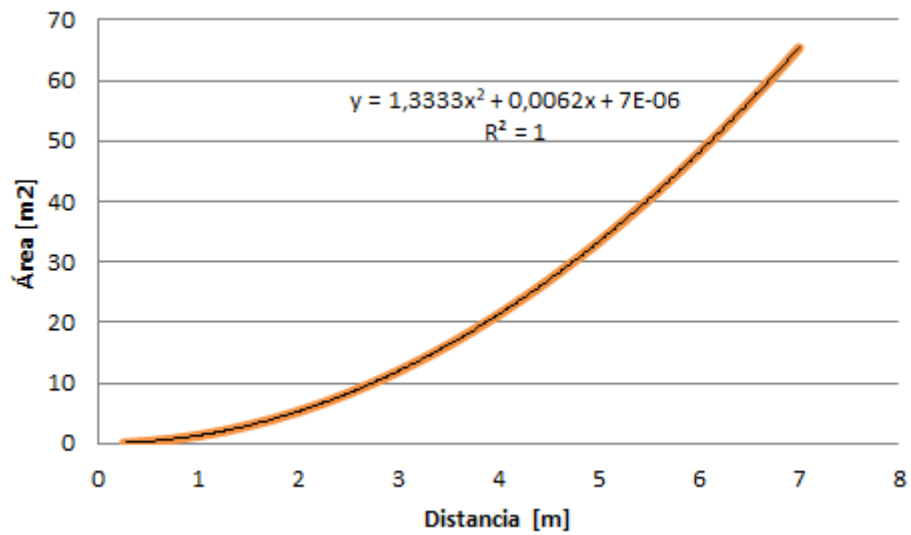


Siendo A la mitad de la óptica del sensor y D la distancia entre el sensor y una superficie. En cuanto al área de detección, es $(2 \cdot C)^2$. A continuación se muestra el cálculo para hallar la superficie de cobertura.

$$AB=CD \text{ Donde } B = \frac{A}{\tan 30}$$

Sustituyendo B en la ecuación y aislando C:

$$C = \frac{A}{\frac{A}{\tan 30}} \cdot \left(\frac{A}{\tan 30} + distancia \right) = A + distancia \cdot \tan(30)$$



Como podemos observar, el área de detección aumenta según la ecuación de la imagen anterior. Esto quiere decir que a mayor distancia mayor superficie pero menor resolución. En nuestro caso la resolución no es un factor importante.

ANEXO 4

**DESGLOSE DE LOS COSTES DE IMPLEMENTACIÓN Y EL
COSTE DE REALIZACIÓN DEL PROYECTO**

COSTE DE LOS COMPONENTES DEL MÓDULO COORDINADOR

Coordinador	Precio unidad
XBee S1 Pro	24,20 €
XBee explorer USB	23,15
Cable UFL-RPSMA	6,04 €
Antena 2,4 GHz	9,34 €
Cable mini USB	3,36 €
Caja aluminio	6,34 €
Total	72,43€

COSTE DE LOS COMPONENTES DEL MÓDULO ROUTER

Router	Precio unidad
XBee S1 Pro	24,20 €
Arduino Mini Pro 3.3V	9,92 €
AMG8833	39,90 €
HIH5031	17,19 €
TMP36	1,20 €
Pila Litio ER34615M 14,5Ah 3,6V	13,40 €
Cable UFL-RPSMA	6,04 €
Antena 2,4 GHz	9,34 €
Caja aluminio	6,34 €
Portapila D	1,50 €
Pines macho-hembra	3,84 €
Interruptor	3,25 €
Terminal 3,5mm	1,05 €
PCB	0,19 €
Total	137,36€

**COSTE IMPLEMENTACIÓN CON DISTANCIA DE 100M ENTRE
MÓDULOS**

Coordinador	Precio unidad	Cantidad	Precio Total	Nº Coordinadores	332
XBee S1 Pro	24,20 €	21	508,20 €	NºRouter	7968
XBee explorer USB	23,15	21	486,15 €		
Cable UFL-RPSMA	6,04 €	21	126,84 €		
Antena 2,4 GHz	9,34 €	21	196,14 €		
Cable mini USB	3,36 €	21	70,56 €		
Caja aluminio	6,34 €	21	133,14 €		
				Precio Coordinador	24.046,76 €
				Precio Router	1.094.484,48 €
Router				Precio Total	1.118.537,23 €
XBee S1 Pro	24,20 €	498	12.051,60 €	Coste mano de obra	110.666,67 €
Arduino Mini Pro 3.3V	9,92 €	498	4.940,16 €		
AMG8833	39,90 €	498	19.870,20 €	Coste informático	8.000,00 €
HIH5031	17,19 €	498	8.560,62 €		
TMP36	1,20 €	498	597,60 €		
Pila Litio					
ER34615M 14,5Ah 3,6V	13,40 €	498	6.673,20 €		
Cable UFL-RPSMA	6,04 €	498	3.007,92 €		
Antena 2,4 GHz	9,34 €	498	4.651,32 €		
Caja aluminio	6,34 €	498	3.157,32 €		
Portapila D	1,50 €	498	747,00 €	Precio Total	2.355.735,14 €
Pines macho-hembra	3,84 €	498	1.912,32 €		
Interruptor	3,25 €	498	1.618,50 €		
Terminal 3,5mm	1,05	498	522,90 €		
PCB	0,19	498	94,62 €		

COSTE IMPLEMENTACIÓN CON UNA DISTANCIA DE 50M ENTRE MÓDULOS

Coordinador	Precio unidad	Cantidad	Precio Total	Nº Coordinadores	332
XBee S1 Pro	24,20 €	336	8.131,20 €		
XBee explorer USB	23,15	336	7.778,40 €	NºRouter	26560
Cable UFL-RPSMA	6,04 €	336	2.029,44 €		
Antena 2,4 GHz	9,34 €	336	3.138,24 €		
Cable mini USB	3,36 €	336	1.128,96 €		
Caja aluminio	6,34 €	336	2.130,24 €	Precio Coordinador	24.046,76 €
Router				Precio Router	3.648.281,60 €
XBee S1 Pro	24,20 €	8064	195.148,80 €	Precio Total	3.672.334,35 €
Arduino Mini Pro 3.3V	9,92 €	8064	79.994,88 €	Coste mano de obra	358.560,00 €
AMG8833	39,90 €	8064	321.753,60 €	Coste informático	20.000,00 €
HIH5031	17,19 €	8064	138.620,16 €		
TMP36	1,20 €	8064	9.676,80 €		
Pila Litio ER34615M 14,5Ah 3,6V	13,40 €	8064	108.057,60 €		
Cable UFL-RPSMA	6,04 €	8064	48.706,56 €		
Antena 2,4 GHz	9,34 €	8064	75.317,76 €		
Caja aluminio	6,34 €	8064	51.125,76 €		
Portapila D	1,50 €	8064	12.096,00 €	Precio Total	7.723.22,71 €
Pines macho-hembra	3,84 €	8064	30.965,76 €		
Interruptor	3,25 €	8064	26.208,00 €		
Terminal 3,5mm	1,05	8064	8.467,20 €		
PCB	0,19	8064	1.532,16 €		

COSTE PARA LA REALIZACIÓN DE ESTE PROYECTO

En la tabla siguiente se muestra los componentes y materiales utilizados a lo largo de este proyecto. En ella se incluye también los componentes no utilizados en la solución final pero que si fueron probados y descartados.

Coordinador	Precio unidad	Cantidad	Precio Total
XBee S1 Pro	24,2	3	72,60 €
Arduino Mini Pro 3.3V	9,92	1	9,92 €
AMG8833	39,9	1	39,90 €
HIH5031	17,19	3	51,57 €
TMP36	1,2	5	6,00 €
Pila Litio ER34615M 14,5Ah 3,6V	13,4	3	40,20 €
XBee explorer USB	23,15	1	23,15 €
Cable UFL-RPSMA	6,04	3	18,12 €
Antena 2,4 GHz	9,34	3	28,02 €
FTDI Adaptador USB a TTL	5,99	1	5,99 €
Cable mini USB	3,36	1	3,36 €
Caja aluminio	6,34	3	19,02 €
Porta pila D	1,5	3	4,50 €
Pines macho-hembra	3,84	5	19,20 €
Interruptor	3,25	2	6,50 €
Terminal 3,5mm	1,05	5	5,25 €
PCB	0,19	20	3,80 €
Arduino UNO	19,95	1	19,95 €
Xbee Breakout	1,52	4	6,08 €
Fotodiodo MLX90614	14,06	1	14,06 €
Fotodiodo Sharp Infrarrojo	2,84	2	5,68 €
Amplificador Operacional LM741	0,72	5	3,60 €
Mini Protoboard	1,02	4	4,08 €
Protoboard	4,95	1	4,95 €
Cables	2,56	1	2,56 €
LEDs	11,65	1	11,65 €
Resistencias	11,99	1	11,99 €
Condensadores	16,99	1	16,99 €
Espaciadores nylon	15,99	1	15,99 €
Estaño 0,56mm	9,26	1	9,26 €
Gastos de envío totales	197,65	1	197,65 €
Total			681,59 €

ANEXO 5

**SCRIPT MATLAB Y ARDUINO, Y CONFIGURACIÓN MÓDULOS
XBEE**

SCRIPT MATLAB

```
%%
clear all;
close all;
clc;

% Configuración Puerto Serie
%Parámetros Puerto Serie a CONFIGURAR

COM = 'COM5'; %Cambiar número de puerto
Velocidad = 115200; %Velocidad de transmisión
BitsDatos = 8; %Bits mensaje
Paridad = 'none'; %Bits de paridad
BitParada = 1; %Bits de parada
Fcontrol = 'none';
Final = 'CR'; %CR LF
Tiempo = 12;

delete(instrfind({'port'}, {COM}));
PuertoSerie = serial(COM); %Puerto que leer
PuertoSerie.BaudRate = Velocidad; %Velocidad de transmisión
PuertoSerie.DataBits = BitsDatos; %Bits a transmitir/leer
PuertoSerie.Parity = Paridad; %Bits de paridad
PuertoSerie.StopBits = BitParada; %Bits de Stop
PuertoSerie.FlowControl = Fcontrol;
PuertoSerie.Terminator = Final;
PuertoSerie.TimeOut = Tiempo;

fopen(PuertoSerie); %Abrir el puerto

%*****
%%
%Declaración de variables
DatosEntrada=[];
Datos_1=[];
Datos_2=[];
Datos_3=[];
On = true;
Longitud = 0;
IO=146; %Diferenciación tipo de datos, 0x90 o 0x92, en este caso 0x92
RxTx=144;

T1=0;%Temperatura módulo 1 sin conversión
H1=0;%Humedad módulo 1 sin conversión
T2=0;%Temperatura módulo 2 sin conversión
H2=0;%Humedad módulo 2 sin conversión

Temperatura1=0;%Temperatura °C módulo 1
Temperatura2=0;%Temperatura °C módulo 2

Humedad1=0;%Humedad °C módulo 1
Humedad2=0;%Humedad °C módulo 2

%Vector para almacenar temperatura
T1vect=[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0];
T2vect=[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0];
```

```

%Posición pixel más calientes
iP=[0 0 0 0 0];
iP1=0;%Pixel 1
iP2=0;%Pixel 2
iP3=0;%Pixel 3
iP4=0;%Pixel 4
iP5=0;%Pixel 5

%Temperatura pixel más calientes
P=[0 0 0 0 0];
P1=0;% 1° Pixel más caliente
P1b=0;
P2=0;% 2° Pixel más caliente
P2b=0;
P3=0;% 3° Pixel más caliente
P3b=0;
P4=0;% 4° Pixel más caliente
P4b=0;
P5=0;%5° Pixel más caliente
P5b=0;

%Leer primera vez para eliminar fallos
while PuertoSerie.BytesAvailable == 0
    end

    pause(1);
    DatosEntrada=[DatosEntrada fread(PuertoSerie)'];
%*****
%*****
while On
    i=2; %ADQ
    iPixel=16;%Pixel primera posición
    DatosEntrada=[];
    VecP=zeros(1,64);

    while PuertoSerie.BytesAvailable == 0
        end

        pause(1);
        DatosEntrada=[DatosEntrada fread(PuertoSerie)'];
        fprintf('%X',DatosEntrada);
        Longitud=length(DatosEntrada);
        if Longitud>100 && Longitud<120
            [Datos_1,i]=ClasificarV(DatosEntrada,i);
            i=i+1;
            if DatosEntrada(i+2)==IO
                [Datos_2,i]=ClasificarV(DatosEntrada,i);
                i=i+1;
                [Datos_3]=ClasificarVfinal(DatosEntrada,i,Longitud);
            else
                [Datos_3]=ClasificarVfinal(DatosEntrada,i,Longitud-23);
                i=i+1;
                [Datos_2,i]=ClasificarV(DatosEntrada,i);
            end
        end
    end
end

```



```

if Datos_1(11)==85
    [T1,H1]=ADQ_Sensor(Datos_1);
    [T2,H2]=ADQ_Sensor(Datos_2);
else
    [T1,H1]=ADQ_Sensor(Datos_2);
    [T2,H2]=ADQ_Sensor(Datos_1);
end

%Obtenemos la posición del 1°Pixel más caliente
[iP(1),iPixel]=PosicionP(Datos_3,iPixel);
%Temperatura del 1°Pixel más caliente
[P1,iPixel]=Temperatura_entero(Datos_3,iPixel);
[P1b,iPixel]=Temperatura_decimales(Datos_3,iPixel);
%Juntamos la parte entera con la parte decimal
P(1)=(P1*100+P1b)/100;

%Obtenemos la posición del 2°Pixel más caliente
[iP(2),iPixel]=PosicionP(Datos_3,iPixel);
%Temperatura del 2°Pixel más caliente
[P2,iPixel]=Temperatura_entero(Datos_3,iPixel);
[P2b,iPixel]=Temperatura_decimales(Datos_3,iPixel);
%Juntamos la parte entera con la parte decimal
P(2)=(P2*100+P2b)/100;

%Obtenemos la posición del 3°Pixel más caliente
[iP(3),iPixel]=PosicionP(Datos_3,iPixel);
%Temperatura del 3°Pixel más caliente
[P3,iPixel]=Temperatura_entero(Datos_3,iPixel);
[P3b,iPixel]=Temperatura_decimales(Datos_3,iPixel);
P(3)=(P3*100+P3b)/100

%Obtenemos la posición del 4°Pixel más caliente
[iP(4),iPixel]=PosicionP(Datos_3,iPixel);
%Temperatura del 4°Pixel más caliente
[P4,iPixel]=Temperatura_entero(Datos_3,iPixel);
[P4b,iPixel]=Temperatura_decimales(Datos_3,iPixel);
P(4)=(P4*100+P4b)/100

%Obtenemos la posición del 5°Pixel más caliente
[iP(5),iPixel]=PosicionP(Datos_3,iPixel);
%Temperatura del 5°Pixel más caliente
[P5,iPixel]=Temperatura_entero(Datos_3,iPixel);
[P5b,iPixel]=Temperatura_decimales(Datos_3,iPixel);
P(5)=(P5*100+P5b)/100

%Conversion temperatura ADC en °C
Temperatura1=(T1*2.8/1023)*100-50;
Temperatura2=(T2*3.3/1023)*100-50;

%Conversion humedad ADC en °C con ajuste de temperatura
Humedad1=(( (H1/1023)-0.16)/0.0062)/(1.0546-0.00216*Temperatura1);
Humedad2=(( (H2/1023)-0.16)/0.0062)/(1.0546-0.00216*Temperatura2);

```

```

%%Grafico de barra modulo 1 y modulo 2
N_Mod_1=categorical({'Temperatura','Humedad'});
N_Mod_2=categorical({'Temperatura','Humedad'});

G_Mod_1=[Temperatura1 Humedad1];
G_Mod_2=[Temperatura2 Humedad2];

%%Grafico evolución temperatura
T1vect=[T1vect(2:12),Temperatura1];
T2vect=[T2vect(2:12),Temperatura2];
x = [0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11];

%matriz de los 5 pixeles más calientes del sensor AMG8833
%Vector IRv para creación de la matriz
IRv=zeros(1,64); %Vector[64] de 0
[IRv]=VectorTemperatura(iP,P);
%Convertir vector IRv en matrix 8x8
IRm=zeros(8);
IRm=vec2mat(IRv,8);

subplot(2,2,1)%Grafico de barras módulo 1
gb1=bar(N_Mod_1,G_Mod_1);
gb1.FaceColor = 'flat';
title('Modulo 1')

subplot(2,2,2)%Grafico de barras módulo 2
gb2=bar(N_Mod_2,G_Mod_2);
gb2.FaceColor = 'flat';
title('Modulo 2')

subplot(2,2,3)%Evolución de la temperatura del módulo 1 y 2
gev=plot(x,T1vect,'b',x,T2vect,'r');
title('Evolución temperatura')
legend('Temperatura Módulo 1','Temperatura Módulo 2')

subplot(2,2,4)
imshow(imcomplement(IRm))
title('Sensor AMG8833')

%Cambiar color en grafico de barras
if Temperatura1<35
    gb1.CData(2,:) = [0 1 0];%Verde
elseif Temperatura1>35 && Temperatura1<50
    gb1.CData(2,:) = [1 .8 0];%Amarillo
else
    gb1.CData(2,:) = [1 0 0];%Rojo
end

if Temperatura2<35
    gb2.CData(2,:) = [0 1 0];%Verde
elseif Temperatura2>35 && Temperatura2<50
    gb2.CData(2,:) = [1 .8 0];%Amarillo
else
    gb2.CData(2,:) = [1 0 0];%Rojo
end

```

```

if Humedad1>40
    gb1.CData(1,:) = [0 1 0];%Verde
elseif Humedad1>30 && Humedad1<40
    gb1.CData(1,:) = [1 .8 0];%Amarillo
else
    gb1.CData(1,:) = [1 0 0];%Rojo
end

if Humedad2>40
    gb2.CData(1,:) = [0 1 0];%Verde
elseif Humedad2>30 && Humedad2<40
    gb2.CData(1,:) = [1 .8 0];%Amarillo
else
    gb2.CData(1,:) = [1 0 0];%Rojo
end

%*****
%Mensaje de probabilidad de incendio
if Temperatural<35 && Humedad1>40
    if P(1) <50
        msgbox('Probabilidad Baja de incendio','Probabilidad
incendio','none','replace')
    else
        msgbox('Probabilidad Media de incendio','Probabilidad
incendio','warn','replace')
    end
elseif (Temperatural>35 && Temperatural<50) && (Humedad2>30 &&
Humedad2<40) && (P(1)>35 && P(1)<50)
    msgbox('Probabilidad Media de incendio','Probabilidad
incendio','warn','replace')
else
    msgbox('Probabilidad ALTA de incendio','Probabilidad
incendio','error','replace')
end

%*****
%Añadir datos al documento Excel
columnaDatos='A';%Primera columna Excel
columnaFecha='E';
fila=3;%Fila inicial Excel
FechaHora=datetime;%Fecha y hora
FechaHora=datevec(FechaHora);%Convertir en vector
valores=[Temperatural Humedad1 Temperatura2 Humedad2];
%Aumentar valor de la fila
fil=num2str(fila);%Convertir valor de la fila en string
%Junta columna y fila
celdaDatos=strcat(columnaDatos,fil);
celdaFecha=strcat(columnaFecha,fil);
%
%Escribir Datos de temperatura y humedad
xlswrite('Temperatura_Humedad.xlsx',valores,'Sheet1',celdaDatos);
%
%Escribir la Fecha y Hora aaaa/mm/dd/hh/mm/ss
%(año,mes,día,hora,minutos,segundos)
xlswrite('Temperatura_Humedad.xlsx',FechaHora,'Sheet1',celdaFecha);
fila=fila+1;

end
end
%Cerrar puerto serie
fclose(PuertoSerie);

```

SCRIPT ARDUINO

```
#include <LowPower.h>
#include <Wire.h>
#include <SparkFun_GridEYE_Arduino_Library.h>
GridEYE grideye;

#define PinInterrupcion 2
#define AMG 10

float Pixel[64];

void setup()
{
  Wire.begin();
  grideye.begin();
  Serial.begin(115200);
  pinMode(PinInterrupcion, INPUT); //Interrupción 0
  pinMode(AMG, OUTPUT); //Pin 10
}

void loop()
{
  float hot_1 = 0;
  byte indice_1 = 0;
  float hot_2 = 0;
  byte indice_2 = 0;
  float hot_3 = 0;
  byte indice_3 = 0;
  float hot_4 = 0;
  byte indice_4 = 0;
  float hot_5 = 0;
  byte indice_5 = 0;
  float Pixel[64];

  attachInterrupt(0, DespertarArduino, RISING); //Detecta flanco subida
  digitalWrite(AMG, LOW); //Apagar el AMG mientras está dormido
  LowPower.powerDown(SLEEP_FOREVER, ADC_OFF, BOD_OFF);
  /*
   * Dormimos arduino hasta detectar interrupción
   */

  detachInterrupt(0);
  /*
   * Desactivamos interrupción hasta terminar las lecturas y envío de los sensores
   */
}
```

```

delay(100);
/*
 * Sensor amg8833 */
for (unsigned char i = 0; i < 64; i++) {

    Pixel[i] = grideye.getPixelTemperature(i);
    if (Pixel[i] > hot_5)
    {
        if (Pixel[i] > hot_4)
        {
            if (Pixel[i] > hot_3)
            {
                if (Pixel[i] > hot_2)
                {
                    if (Pixel[i] > hot_1)
                    {
                        {
                            hot_5 = hot_4;
                            hot_4 = hot_3;
                            hot_3 = hot_2;
                            hot_2 = hot_1;
                            hot_1 = Pixel[i];
                            indice_1 = i;
                        }
                    }
                    else
                    {
                        {
                            hot_5 = hot_4;
                            hot_4 = hot_3;
                            hot_3 = hot_2;
                            hot_2 = Pixel[i];
                            indice_2 = i;
                        }
                    }
                }
            }
            else
            {
                {
                    hot_5 = hot_4;
                    hot_4 = hot_3;
                    hot_3 = Pixel[i];
                    indice_3 = i;
                }
            }
        }
        else
        {
            {
                hot_5 = hot_4;
                hot_4 = Pixel[i];
                indice_4 = i;
            }
        }
    }
    else
    {
        {
            hot_5 = Pixel[i];
            indice_5 = i;
        }
    }
}
}

```

```
Serial.print("/");
Serial.print(indice_1);
Serial.print(' ');
Serial.print(hot_1);
Serial.print("/");
Serial.print(indice_2);
Serial.print(' ');
Serial.print(hot_2);
Serial.print("/");
Serial.print(indice_3);
Serial.print(' ');
Serial.print(hot_3);
Serial.print("/");
Serial.print(indice_4);
Serial.print(' ');
Serial.print(hot_4);
Serial.print("/");
Serial.print(indice_5);
Serial.print(' ');
Serial.print(hot_5);
Serial.print("/");
Serial.write("\r"); //CR
delay(100);
Serial.flush();

}

void DespertarArduino()
{
  digitalWrite(AMG,HIGH); //Encender el AMG mientras está despierto
}
```

CONFIGURACIÓN XBEE COORDINADOR XCTU













Product family: XBP24-DM

Function set: XBee Pro DigiMesh 2.4

Firmware version: 8073









▼ MAC/PHY

Change MAC/PHY Settings

i	CH Operating Channel	C		 
i	ID Network ID	2018		 
i	MT Broadcast Multi-Transmits	3		 
i	PL TX Power Level	Highest [4]	▼	 
i	RR Unicast Retries	A	Retries	 
i	CA CCA Threshold	0	-dBm	 











▼ Diagnostic-MAC Statistics and Timeouts

MAC Statistics and Timeouts. Click on + to expand the list of parameters.

i	BC Bytes Transmitted	1E0F0	
i	DB Last Packet RSSI	0	
i	GD Good Packets Received	0	
i	EA MAC ACK Failure Count	0	
i	TR Transmission Failure Count	0	
i	UA Unicasts Attempted Count	0	
i	%H MAC Unicast One Hop Time	3B	
i	%8 MAC Broadcast One Hop Time	26	
















▼ Network

Change DigiMesh Network Settings

i	CE Routing/Messaging Mode	Standard Router [0]	▼	 
i	BH Broadcast Hops	0		 
i	NH Network Hops	7	Hops	 
i	MR Mesh Unicast Retries	1	Mesh Unicast Retries	 
i	NN Network Delay Slots	3	Network Delay Slots	 


▼ Addressing

Change Addressing Settings

i	SH Serial Number High	13A200	
i	SL Serial Number Low	4177F950	
i	DH Destination Address High	<input type="text" value="0"/>	 
i	DL Destination Address Low	<input type="text" value="FFFF"/>	 
i	NI Node Identifier	<input type="text" value="Coordinador"/>	 
i	NT Network Discovery Back-off	<input type="text" value="82"/> * 100 ms 	 
i	NO Network Discovery Options	<input type="text" value="0"/>	 
i	CI Cluster ID	<input type="text" value="11"/>	 





▼ Diagnostic-Addressing

Addressing Diagnostics and Timing. Click on + to expand the list of parameters.

i	N? Network Discovery Timeout	3D6A	
---	-------------------------------------	------	---













▼ Security

Change Security Parameters

i	EE Encryption Enable	<input type="text" value="Disabled [0]"/>	 
i	KY AES Encryption Key	<input type="text"/>	 





























▼ Serial Interfacing









Change module interfacing options

i	BD Baud Rate	<input type="text" value="115200 [7]"/>	 
i	NB Parity	<input type="text" value="No Parity [0]"/>	 
i	RO Packetization Timeout	<input type="text" value="3"/> * character times	 
i	FT Flow Control Threshold	<input type="text" value="BE"/> Bytes	 
i	AP API Enable	<input type="text" value="API Mode Without Escapes [1]"/>	 
i	AO API Options	<input type="text" value="API Rx Indicator-0x90 [0]"/>	 

▼ I/O Settings







Modify DIO and ADC Options

i	D0 DIO0/AD0	<input type="text" value="Disabled [0]"/>	 
i	D1 DIO1/AD1	<input type="text" value="Disabled [0]"/>	 
i	D2 DIO2/AD2	<input type="text" value="Disabled [0]"/>	 
i	D3 DIO3/AD3	<input type="text" value="Disabled [0]"/>	 
i	D4 DIO4/AD4	<input type="text" value="Disabled [0]"/>	 
i	D5 DIO5/AD5/ASSOCIATED_INDICATOR	<input type="text" value="Assoc. Indicator [1]"/>	 
i	D6 DIO6/RTS	<input type="text" value="Disable [0]"/>	 
i	D7 DIO7/CTS	<input type="text" value="CTS flow control [1]"/>	 
i	D8 DIO8/SLEEP_REQUEST	<input type="text" value="Sleep Request [1]"/>	 
i	D9 DIO9/ON_SLEEP	<input type="text" value="ON/SLEEP Output [1]"/>	 
i	P0 DIO10/RSSI/PWM0	<input type="text" value="RSSI PWM0 Output [1]"/>	 
i	P1 DIO11/PWM1	<input type="text" value="Disabled [0]"/>	 
i	P2 DIO12	<input type="text" value="Disabled [0]"/>	 
i	PR Pull-up Resistor Enable	<input type="text" value="1FFF"/>	 

i	M0 PWM0 Duty Cycle	0		 
i	M1 PWM1 Duty Cycle	0		 
i	LT Associate LED Blink Time	0	* 10 ms	 
i	RP RSSI PWM Timer	28	* 100 ms	 













▼ I/O Sampling

Configure I/O Sampling Parameters. Click on + to expand the list of parameters.

i	IC DIO Change Detect	0		 
i	IF Sleep Sample Rate	1		 
i	IR Sample Rate	FFFF	* 1 ms	 






▼ Sleep Commands

Configure Sleep Parameters

i	SM Sleep Mode	Sleep Support [7]		 
i	SO Sleep Options	1		 
i	SN Number of Cycles Between ON_SLEEP	1		 
i	SP Sleep Time	7530	* 10 ms	 
i	ST Wake Time	9C4	* 1 ms	 
i	WH Wake Host Delay	64	* 1 ms	 







▼ Diagnostic-Sleep Status/Timing

Sleep Diagnostics and Timing. Click on + to expand the list of parameters.

i	SS Sleep Status	684E	
i	OS Operating Sleep Time	FA0	
i	OW Operating Wake Time	BB8	
i	MS Missed Sync Messages	0	
i	SQ Missed Sleep Sync Count	0	







▼ AT Command Options

Change AT Command Mode Behavior

i	CC Command Sequence Character	2B	Recommended:...0x7F (ASCII)	 
i	CT Command Mode Timeout	64	* 100ms	 
i	GT Guard Times	BB8	* 1ms	 

▼ Firmware Version/Information

Access Firmware Version/Information

i	VR Firmware Version	8073	
i	HV Hardware Version	184E	
i	DD Device Type Identifier	50000	 
i	NP Maximum Packet Payload Bytes	49	
i	CK Configuration CRC	672F	

CONFIGURACIÓN XBEE ROUTER XCTU













Product family: XBP24-DM

Function set: XBee Pro DigiMesh 2.4

Firmware version: 8073









▼ MAC/PHY

Change MAC/PHY Settings

i	CH Operating Channel	C		 
i	ID Network ID	2018		 
i	MT Broadcast Multi-Transmits	3		 
i	PL TX Power Level	Highest [4]	▼	 
i	RR Unicast Retries	A	Retries	 
i	CA CCA Threshold	0	-dBm	 











▼ Diagnostic-MAC Statistics and Timeouts

MAC Statistics and Timeouts. Click on + to expand the list of parameters.

i	BC Bytes Transmitted	950	
i	DB Last Packet RSSI	0	
i	GD Good Packets Received	0	
i	EA MAC ACK Failure Count	0	
i	TR Transmission Failure Count	0	
i	UA Unicasts Attempted Count	0	
i	%H MAC Unicast One Hop Time	38	
i	%8 MAC Broadcast One Hop Time	26	

▼ Network

Change DigiMesh Network Settings

i	CE Routing/Messaging Mode	Standard Router [0]	▼	 
i	BH Broadcast Hops	0		 
i	NH Network Hops	7	Hops	 
i	MR Mesh Unicast Retries	1	Mesh Unicast Retries	 
i	NN Network Delay Slots	3	Network Delay Slots	 

▼ Addressing

Change Addressing Settings

i	SH Serial Number High	13A200	⚙️ 🔒
i	SL Serial Number Low	4177F956	⚙️ 🔒
i	DH Destination Address High	<input type="text" value="13A200"/>	⚙️ 🔒
i	DL Destination Address Low	<input type="text" value="4177F950"/>	⚙️ 🔒
i	NI Node Identifier	<input type="text" value="Xbee AoB"/>	⚙️ 🔒
i	NT Network Discovery Back-off	<input type="text" value="82"/> * 100 ms	⚙️ 🔒
i	NO Network Discovery Options	<input type="text" value="0"/>	⚙️ 🔒
i	CI Cluster ID	<input type="text" value="11"/>	⚙️ 🔒

▼ Diagnostic-Addressing

Addressing Diagnostics and Timing. Click on + to expand the list of parameters.

i	N? Network Discovery Timeout	3D6A	⚙️
---	------------------------------	------	----

▼ Security

Change Security Parameters

i	EE Encryption Enable	<input type="text" value="Disabled [0]"/>	⚙️ 🔒
i	KY AES Encryption Key	<input type="text"/>	⚙️ 🔒

▼ Serial Interfacing











Change module interfacing options

i	BD Baud Rate	<input type="text" value="115200 [7]"/>	⚙️ 🔒
i	NB Parity	<input type="text" value="No Parity [0]"/>	⚙️ 🔒
i	RO Packetization Timeout	<input type="text" value="3"/> * character times	⚙️ 🔒
i	FT Flow Control Threshold	<input type="text" value="BE"/> Bytes	⚙️ 🔒
i	AP API Enable	<input type="text" value="Transparent Mode [0]"/>	⚙️ 🔒
i	AO API Options	<input type="text" value="API Rx Indicator-0x90 [0]"/>	⚙️ 🔒

▼ I/O Settings








Modify DIO and ADC Options

i	D0 DIO0/AD0	<input type="text" value="ADC [2]"/>	⚙️ 🔒
i	D1 DIO1/AD1	<input type="text" value="ADC [2]"/>	⚙️ 🔒
i	D2 DIO2/AD2	<input type="text" value="Disabled [0]"/>	⚙️ 🔒
i	D3 DIO3/AD3	<input type="text" value="Disabled [0]"/>	⚙️ 🔒
i	D4 DIO4/AD4	<input type="text" value="Disabled [0]"/>	⚙️ 🔒
i	D5 DIO5/AD5/ASSOCIATED_INDICATOR	<input type="text" value="Assoc. Indicator [1]"/>	⚙️ 🔒
i	D6 DIO6/RTS	<input type="text" value="Disable [0]"/>	⚙️ 🔒
i	D7 DIO7/CTS	<input type="text" value="CTS flow control [1]"/>	⚙️ 🔒
i	D8 DIO8/SLEEP_REQUEST	<input type="text" value="Sleep Request [1]"/>	⚙️ 🔒
i	D9 DIO9/ON_SLEEP	<input type="text" value="ON/SLEEP Output [1]"/>	⚙️ 🔒
i	P0 DIO10/RSSI/PWM0	<input type="text" value="RSSI PWM0 Output [1]"/>	⚙️ 🔒
i	P1 DIO11/PWM1	<input type="text" value="Disabled [0]"/>	⚙️ 🔒
i	P2 DIO12	<input type="text" value="Disabled [0]"/>	⚙️ 🔒
i	PR Pull-up Resistor Enable	<input type="text" value="1FFF"/>	⚙️ 🔒

i	M0 PWM0 Duty Cycle	<input type="text" value="0"/>		 
i	M1 PWM1 Duty Cycle	<input type="text" value="0"/>		 
i	LT Associate LED Blink Time	<input type="text" value="0"/>	* 10 ms 	 
i	RP RSSI PWM Timer	<input type="text" value="28"/>	* 100 ms 	 
















▼ I/O Sampling

Configure I/O Sampling Parameters. Click on + to expand the list of parameters.

i	IC DIO Change Detect	<input type="text" value="0"/>		 
i	IF Sleep Sample Rate	<input type="text" value="1"/>		 
i	IR Sample Rate	<input type="text" value="FFFF"/>	* 1 ms 	 






▼ Sleep Commands

Configure Sleep Parameters

i	SM Sleep Mode	<input type="text" value="Synchronized Cyclic Sleep [8]"/>		 
i	SO Sleep Options	<input type="text" value="2"/>		 
i	SN Number of Cycles Between ON_SLEEP	<input type="text" value="1"/>		 
i	SP Sleep Time	<input type="text" value="C8"/>	* 10 ms 	 
i	ST Wake Time	<input type="text" value="7D0"/>	* 1 ms 	 
i	WH Wake Host Delay	<input type="text" value="0"/>	* 1 ms 	 









▼ Diagnostic-Sleep Status/Timing

Sleep Diagnostics and Timing. Click on + to expand the list of parameters.

i	SS Sleep Status	2041	
i	OS Operating Sleep Time	C8	
i	OW Operating Wake Time	7D0	
i	MS Missed Sync Messages	5	
i	SQ Missed Sleep Sync Count	5	







▼ AT Command Options

Change AT Command Mode Behavior

i	CC Command Sequence Character	<input type="text" value="2B"/>	Recommended:...0x7F (ASCII)	 
i	CT Command Mode Timeout	<input type="text" value="64"/>	* 100ms 	 
i	GT Guard Times	<input type="text" value="3E8"/>	* 1ms 	 

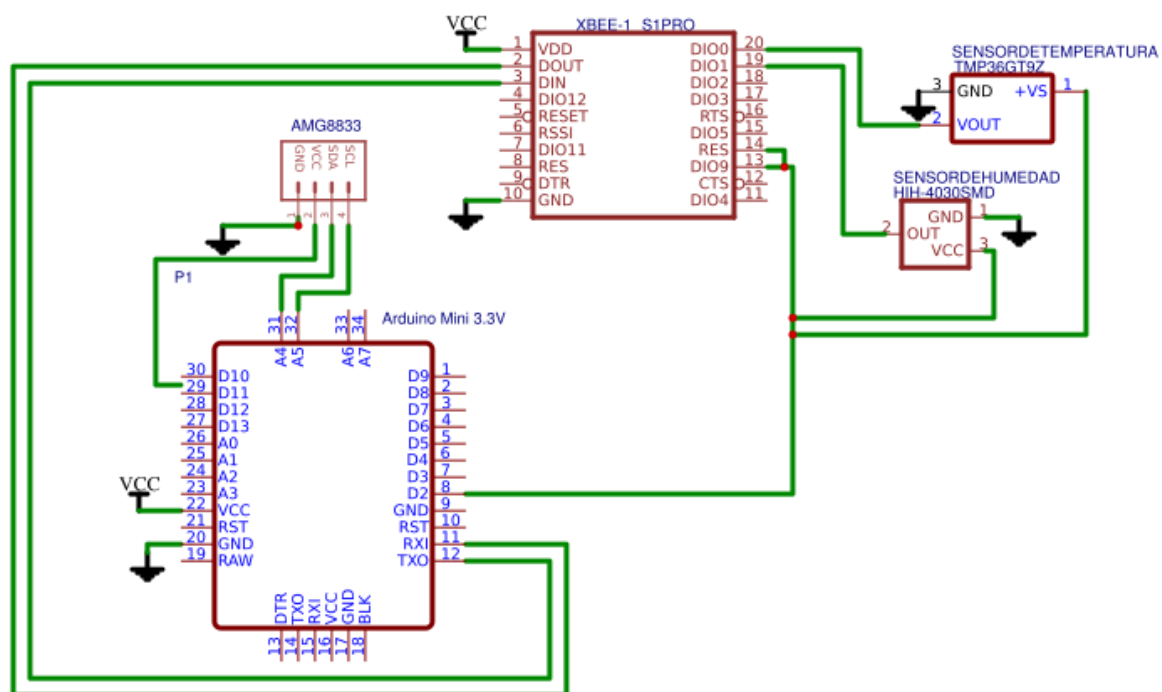
▼ Firmware Version/Information

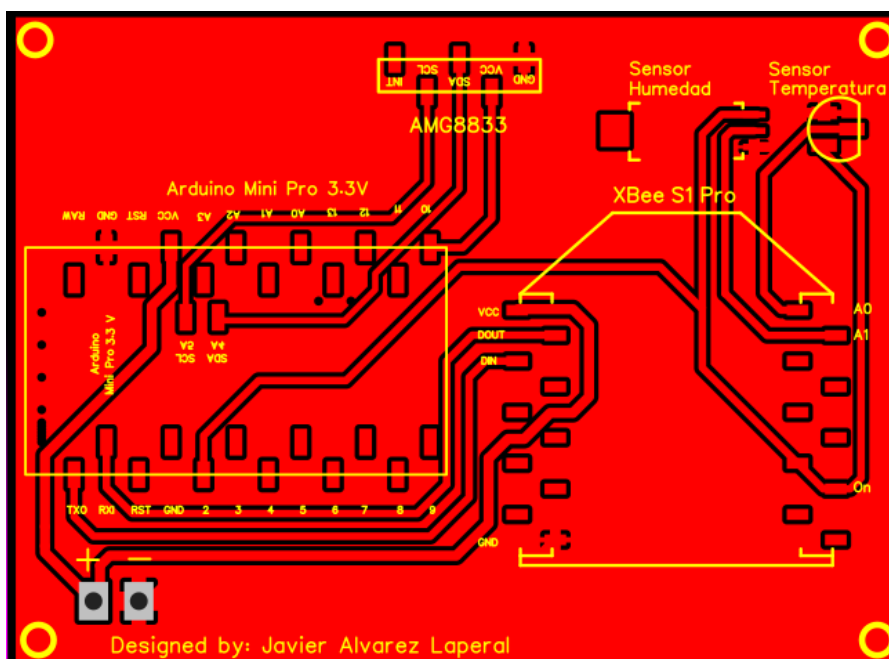
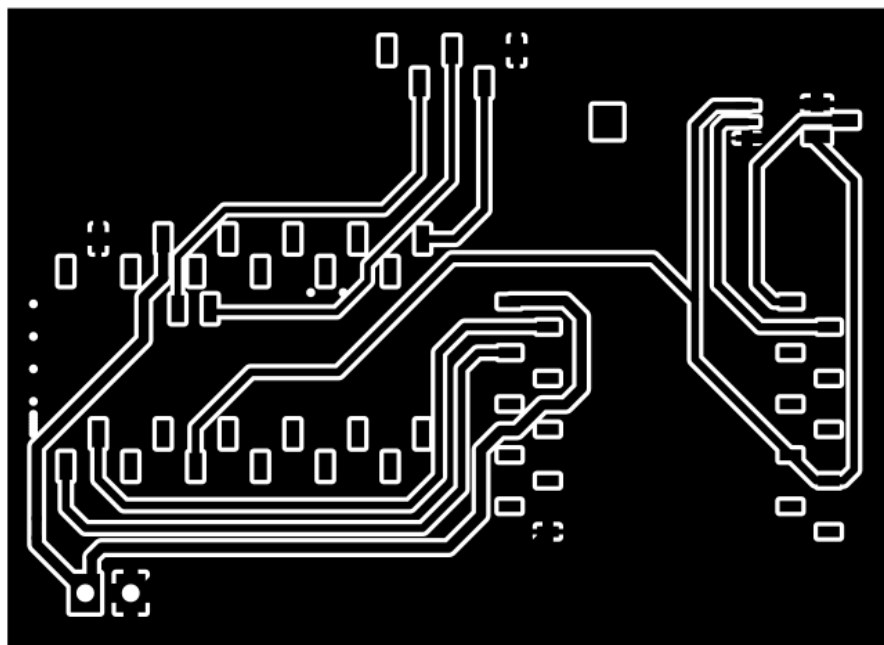
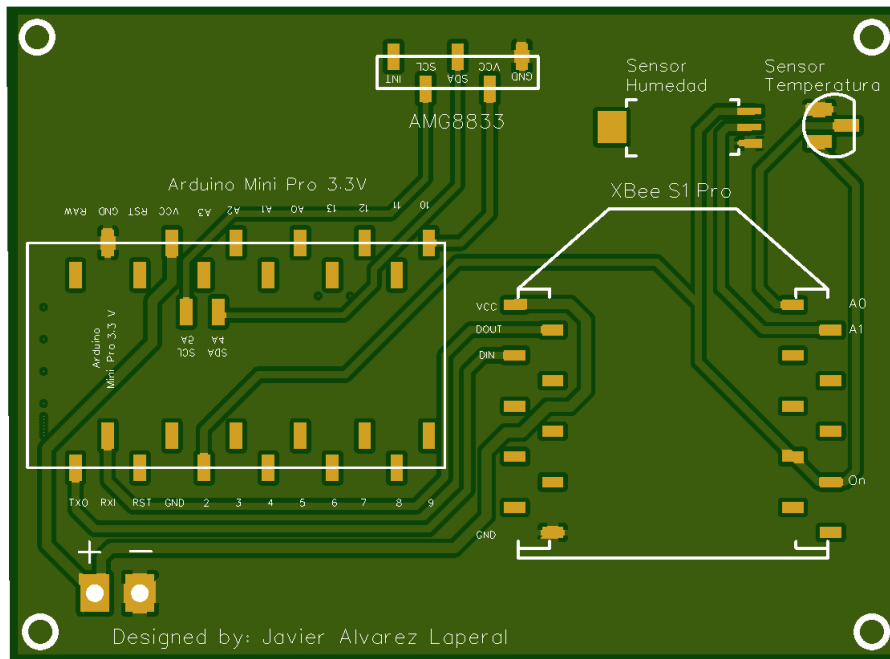
Access Firmware Version/Information

i	VR Firmware Version	8073	
i	HV Hardware Version	184E	
i	DD Device Type Identifier	<input type="text" value="50000"/>	 
i	NP Maximum Packet Payload Bytes	49	
i	CK Configuration CRC	509C	

ANEXO 6

ESQUEMA CIRCUITO Y DISEÑO PCB





ANEXO 7

SCRIPT PROCESSING Y ARDUINO

SCRIPT PROCESSING

```
import processing.serial.*;
Serial uart;
int theKey;
String theBuf;
int theSize = 8;
int theScale = 128;
float[][] theBitmap = new float[8][8];
float theTemp = 27.0;
float theAdj = 75;
float min = 0xffff;
float max = 0;
float ave = 0;
int max_x;
int max_y;
int state = 0;

void setup() {
    size(theSize*theScale, theSize*theScale);
    textSize(24);
    print(Serial.list());
    String uartName = Serial.list()[0]; /
    print("\n\rSelected:" + uartName);
    uart = new Serial(this, uartName, 115200);
    uart.bufferUntil('\n');
}

void draw() {

    min = 0xffff;
    max = 0;
    ave = 0;
    for (int i=0; i<theSize; i++) {
        for (int j=0; j<theSize; j++) {
            ave += theBitmap[i][j];
            if (theBitmap[i][j] < min)
            {
                min = theBitmap[i][j];
            }
            if (theBitmap[i][j] > max)
            {
                max = theBitmap[i][j];
                max_x = i;
                max_y = j;
            }
        }
    }
    ave /= (8*8);
```

```

background(0);
for (int i=0; i<theSize; i++) {
  for (int j=0; j<theSize; j++) {
    float temp = theBitmap[i][j];
    float r = 0;
    float b = 0;
    float g = 0;

    g = map(temp, min, max, 0, 75);

    if (temp > ave) {
      r = map(temp, min, max, 0, 255);
    } else if (temp < ave) {
      b = map(temp, min, max, 0, 255);
    }

    stroke(r, g, b);
    fill(r, g, b);
    rect(i*theScale, (theSize - 1 - j)*theScale, theScale, theScale);
    stroke(255);
    fill(255);
    text(int(temp), (i+0.1)*theScale, (j+0.5)*theScale);
    text(int(temp), (i+0.1)*theScale, ((theSize - 1 - j)+0.5)*theScale);

    if((i == max_x) && (j==max_y))
    {
      stroke(255, 255, 0);
      fill(255, 255, 0);
      rect(i*theScale, (theSize - 1 - j)*theScale, theScale, theScale);
      stroke(0);
      fill(0);
      text(int(temp), (i+0.1)*theScale, ((theSize - 1 - j)+0.5)*theScale);
    }
  }
}

void serialEvent(Serial port) {
  theBuf = trim(port.readString());
  println(theBuf);
  if (theBuf.length() == 9) {
    if (theBuf.equals("Grid-EYE:")) state = 1;
  } else if (state > 0 && state <= 8) {
    float[] pix = float(split(theBuf, ' '));
    for (int i=0; i<theSize; i++) {
      theBitmap[i][state-1] = pix[i];
    }
    state++;
  } else if (state == 9) {
    state = 0;
  }
}

void keyPressed() {
  uart.write(key);
  theKey = key;
}

```

SCRIPT ARDUINO

```
#include <Wire.h>

byte pixelTempL;
byte pixelTempH;
char addr = 0x69;
float celsius;
float aveTemp;

int irqPin = 2;
int pwmPin = 3;

void setup() {
  Wire.begin();
  Serial.begin(115200);

  pinMode(irqPin, INPUT);
  pinMode(pwmPin, OUTPUT);
}

void loop() {
  Serial.print("Grid-EYE:\r\n");

  pixelTempL = 0x80;
  aveTemp = 0;

  for(int pixel = 0; pixel < 64; pixel++){
    Wire.beginTransaction(addr);
    Wire.write(pixelTempL);
    Wire.endTransmission();
    Wire.requestFrom(addr, 2);
    byte lowerLevel = Wire.read();
    byte upperLevel = Wire.read();

    int temperature = ((upperLevel << 8) | lowerLevel);
    if (temperature > 2047)
    {
      temperature = temperature - 4096;
    }

    celsius = temperature * 0.25;

    Serial.print(celsius);
    Serial.print(" ");
    if((pixel+1)%8 == 0)
    {
      Serial.print("\r\n");
    }
  }
}
```

```
switch(pixel)
{
  case 27:
  case 28:
  case 35:
  case 36:
    aveTemp += celsius;
    break;
  default:
    break;
}

pixelTempL = pixelTempL + 2;
}

Wire.beginTransaction(addr);
Wire.write(0x0E);
Wire.endTransmission();
Wire.requestFrom(addr, 2);
byte upperLevelTherm = Wire.read();
byte lowerLevelTherm = Wire.read();

int temperatureTherm = ((lowerLevelTherm << 8) | upperLevelTherm);

float celsiusTherm = temperatureTherm * 0.0625;

Serial.print(celsiusTherm);
Serial.print("\r\n\r\n");

aveTemp *= 0.25;

delay(25);
}
```